الميكانيك والفلك في الشرق

في العصر الوسيط

تأليف : أ.ت. غريـغوريان
م.م. روجانسكايا
ترجمة: د.أمـين طربـوش

منشورات الهيئة العامة السورية للكتاب

وزارة الثقافة – دمشق ٢٠١٠

باتكلا لصلأا لونعلا:

А. Т. ГРИГОРЬЯН,

М. М. ЯАКСНАЖОР

МЕХАНИКА И АСТРОНОМИЯ НА СРЕДНЕВЕКОВОМ ВОСТОКЕ

مقدمـة المترجم

بعد إطلاعي على كتاب الميكانيك والفلك في الشرق في العصر الوسيط باللغة الروسية. لفت نظري أن هناك كمية كبيرة من المعلومات التي يحتويها الكتاب من الناحيتين النوعية والكمية التي تخص منطقة الشرق، وخاصة فترة الحضارة الإسلامية، إضافة إلى المنهجية العلمية التي تحلى بها عرض فصول الكتاب.

يتألف الكتاب من خمسة فصول تصدى الكاتب فيها في الفصل الأول لموضوع الميكانيك والفلك في العصور القديمة مبيناً ما قدمته تلك الحضارات في مجال علم الميكانيك والتوازن والطرق التكاملية الهندسية المرتبطة بعلم الميكانيك مركزاً بالدرجة الأولى على أعمال ارخميدس حول توازن الأجسام في السوائل. ويبين الكاتب أن العتلة (الذراع) كانت الموضوع الأساسي في المسائل الميكانيكية، حيث كانت النظرة إلى الحركة الدائرية للنقطة وكأنها ناتجة عن حركتين: الحركة الطبيعية وحركة السعي نحو المركز. كما يصيغ المؤلف قاعدة الأوزان. وخصص جانباً لعلم الفلك وحركة الأجرام السماوية في العصور القديمة والجهود المبذولة للعثور على مختلف الجداول المتعلقة بحركة الشمس والقمر والكواكب الموجودة الآن في المتحف البريطاني، والجزء الأكبر تم العثور عليه من خلال حفريات التنقيب في بابل واوروك.

تناول المؤلف في الفصل الثاني الاتجاهات الرئيسية في الميكانيك والفلك في الشرق في العصر الوسيط. وهو استكمال للفصل الأول والذي تصدى فيه المؤلف إلى الاتجاهات الأساسية للميكانيك القديم الذي بنى عليه ميكانيك

الشرق في العصر الوسيط، وبسبب التغيرات السياسية في بلدان الشرق نتيجة الفتوحات الإسلامية التي وسعت أرجاء الدولة الإسلامية وأصبحت التربة مهيأة لنشوء ثقافة جديدة متميزة عرفت باسم الثقافة العربية الإسلامية، حيث قامت إلى جانب بغداد مراكز للنشاطات العلمية في الشرق أهمها القاهرة ودمشق وري وبخارى وسمرقند وغيرها.

إن أول العلوم التي ظهرت في بلدان الدولة الإسلامية هي الرياضيات والميكانيك والاهتمام بنظام بطليموس في وضع الموديلات لفلكية عن حركة الأجرام السماوية.

ويبين الكاتب أن التأثير البابلي ظهر في اتجاهين: الأول في تركيب المقالات الفلكية والثاني هو الطرائق المستخدمة.

ومن الملاحظ أن تطور ميكانيك الشرق في العصر الوسيط مر بنفس الاتجاه الأساسي الذي مر به تطور الميكانيك القديم.

وكما هو الحال عند علماء العصور القديمة فان الأبحاث في الشرق في العصر الوسيط قسمت الميكانيك إلى دراسة الآلات الحربية، ودراسة أدوات الحذق والشطارة.

واهم ما يميز تاريخ الميكانيك في الشرق في العصر الوسيط انه مر بثلاث مراحل متمايزة عن بعضها البعض:

المرحلة الأولى: كانت مبنية على أساس التعرف على الثقافات اليونانية والثقافات الشرقية.

والمرحلة الثانية: استخدم العلماء فيها المنجزات الرياضية المعاصرة لهم إلى جانب التقليد اليوناني. وترأس هذا الاتجاه مدرستان من اكبر المدارس العلمية وهما مدرسة المراغة وعلى رأسها الطوسي ومدرسة سمرقند تحت رعاية اولغ بك.

أما **المرحلة الثالثة:** فقد تجسدتفي مقتل اولغ بك وتدمير مرصد سمر قند التي تعد بداية لتدهور العلوم الرياضية والميكانيكية والفلكية في الشرق الوسيط.

وأصبح نشاط الأجيال اللاحقة من العلماء منصب على الاقتباس والنقل وتحول مركز العمل في المسائل الميكانيكية والفلكية والرياضية من المشرق إلى غرب أوربا.

تجسد الفصل الثالث بالتصدي لموضوع علم التوازن في الشرق وركز الموضوع حول كتاب اقليدس عن الموازين وكيفية محافظة العصا على وضع التوازن في مختلف حالات نقل أو تغيير الوزن. وقد ساعدت الظروف التاريخية في العصر الوسيط في الشرق على تطور علم التوازن بشكل خاص، والذي تميز باتجاهات ثلاث:

١.علم التوازن النظري وهو استمرار لخط أرخميدس.

٢.علم التوازن المائي وهو الجانب التطبيقي لعلم التوازن.

٣.علم الحيل الذي اعتمد على تصميم الأجهزة الحديثة للري، وتم في هذا الفصل تحليل مجموعة من المؤلفات والمقالات المكتوبة في العصر الوسيط، وتحديد مفهوم مركز الثقل من خلال كتاب موازين الحكمة الذي احتوى على نظرية الوزن. وركز البحث على موضوع الميكانيك العملي الذي يجمع بين عدة فروع علمية. ويفهم من كلمة التوازن العملي مجموعة المسائل المتعلقة بنظريات الوزن وتصميم الموازين ودقتها وطرق تحديد الوزن النوعي التي اشتهر بها البيروني وابن سينا الذي صنف الفلزات في أربع مجموعات والتي أصبحت فيما بعد أساساً في التصنيفات الجيولوجية حتى القرن التاسع عشر.

وأهم ما يلفت النظر في هذا الفصل موضوع علم الحيل الذي يعتمد على تصميم الآلات البسيطة مثل العجل والمخل والخنزيرة والمنجنيق والعجلة المائية وطواحين الماء والوعاء السحري، وقد سرد الكاتب أسماء مجموعة كبيرة من العلماء الذين كتبوا في مجال علم الحيل. وقد توصل علماء الشرق في العصر الوسيط إلى نتائج في المجال العملي لاتقل أهمية عن علم التوازن النظري ويختتم الكاتب بحثة بالتعرض للديناميك في الشرق في العصر الوسيط وأهم النقاط التي بحثها هو الخلاء وإمكانية الحركة فيه، ومشكلة الحركة في الوسط الذي يبدي مقاومة، والسقوط الحر للأجسام.

ومفهوم القوة والثقل والجاذبية. كما ناقش مجموعة من المشاكل التي كانت مثار جدل بين علماء ذلك العصر مثل نقد ابن سينا والبيروني لأعمال أرسطو وتعليقاتهم عليها.

ويفرد الفصل الأخير لموضوع علم الفلك في الشرق وحركة الأجرام السماوية بادئاً حديثة عن علم الفلك الهندي والمصادر العربية حول هذا المجال والأجهزة الفلكية التي صممها العلماء والتي كانت في غاية الدقة التي استخدمت في تحديد الإحداثيات الكروية للأجرام السماوية وحساب القوس المنصرم من اليوم وتحديد لحظة الشروق والغروب للكواكب. ويشرح البيروني ثلاثة تقاويم استخدمت على نطاق واسع في الدولة الإسلامية وتحديد طول السنة . ونمذجة حركة الأجرام السماوية، وخاصة حركة الشمس والقمر وحركة الكواكب، حيث استخدم البيروني موديل الحركة اللامركزية ورسم الجريدة النجمية.

وأولى أهمية إلى نظرية مباكرة الاعتدالين وترنح الأرض، وقد بين الكاتب أن كبار علماء الميكانيك والفلك في الشرق الإسلامي انطلقوا في تصوراتهم لحركة الأجرام السماوية من نظام بطليموس. وعلى أساس هذا المبدأ وتطويراً له وضع العلماء مجموعة من الموديلات لحركة الكواكب كان لها الأثر الأكبر على تطور الميكانيك والفلك في العصور الحديثة.

لقد تضمن الكتاب عدداً لا بأس به من المصطلحات العلمية المكتوبة باللغة اللاتينية وكان منالمفروض أن نضع لها جدولاً خاصاُ . ولكن وجدنا انه في حال ورود المصطلح لأول مرة في النص أن نبين المعنى أو التر جمة العربية في هامش النص.

نرجو أن نكون قد وفقنا في ترجمة هذا الكتاب وبكل أمانة وان يحقق القارىء الفائدة المرجوه. وان كانت هذه المقدمة تعطي لمحة موجزة عن هذا الكتاب فهذا لا يعني الاكتفاء بقراءة المقدمة، التي لا تغني عن قراءة الكتاب.

الدكتور أمين طربوش

المقدمــة

تشكل النظريات الفلكية والموديلات (النماذج) لحركة الأجرام السماوية، موديلات كينماتية هندسية، وذلك عندما لا يكون الحديث موجه عن أسباب الحركة (المحرك الأول). ويمكن أن ترجع هذه الموديلات من حيث الأسباب إلى احد فروع الميكانيك في العصر الوسيط – " الكينماتيك السماوي ".

وهذا محق بشكل خاص، حيث أن " الكينماتيك الأرضي " لم يكن له وجود في المجال التطبيقي بالتشكل إلا في نهاية هذه الفترة فقط، أي أن جميع النظريات الكينماتية وطرقها تنتسب وتستخدم في حركة الأجرام السماوية فقط.

وقد كان العمل بطرق النمذجة الهندسية لحركة الأجرام السماوية من المسائل الاساسية في علم الكينماتيك، أما الآلة الرياضية لها فكانت المثلثات الكروية وعلم الفلك الكروي الذي يرتبط معها ارتباطاً وثيقاً (وقد ساعد هذا الجانب التخصصي في علوم الشرق المؤلفين بوضع مؤلفات حاولوا من خلالها وضع تاريخ علم الميكانيك والفلك في الشرق في العصر الوسيط من وجهة نظر معينة.

وترجع الجذور الأولى للمعارف الميكانيكية والفلكية، كما هو الحال بالنسبة للمعارف العلمية بشكل عام إلى أعماق العصور القديمة. وكانت مشكلة الميكانيك القديم التي عملوا عليها فيما بعد في أوربا في العصر الوسيط القاعدة التي شيد عليها فيما بعد صرح الميكانيك التقليدي (الكلاسيكي)، أما التصورات الفلكية والموديلات عند العلماء القدماء – فهي المادة العلمية التي لولاها لما كانت قد ظهرت نظرية كوبرنيكوس، ولم تكن قد تمت اكتشافات كبلر.

وقد مكن ظهور الكتابات والمخطوطات منذ فترة زمنية قريبة نسبياً والى درجة كبيرة من وضع تصور عن مجرى تطور الميكانيك والفلك في أوربا في العصر الوسيط، وذلك بالعلاقة مع المشاكل الفلسفية العامة في ذلك الوقت.

وبفكرة محدودة تماماً: كيف نشأ وتطور " وكيف تم العمل بالمفهوم الذي تقع في صلبه النظريات العلمية لموديلات ذلك العصر.

ولكن إذا توجهنا إلى ميكانيك الشرق في العصر الوسيط، فلا بد من أن ينشأ أمام الباحث العديد من المشاكل والمسائل والتساؤلات.

يرجع تاريخ العلوم في الشرق في العصر الوسيط، وبشكل دقيق إلى فترة ليست بعيدة تقع في إحدى مناطق العالم التي لم تحظ بدراسة كافية ضمن مجرى الثقافة العالمية. ويرجع سبب عدم الدراسة هذا إلى عاملين أساسيين:

العامل الأول: هو الاختفاء الفعلي للمصادر من أيدي العلماء الأوربيين.

لقد فقد القسم الأعظم والهام من هذه المصادر خلال مئات السنين العاصفة في تاريخ الشرق، والتي نتج عنها تدمير كبير بسبب الحروب والغزوات والحملات العسكرية. ولم تؤد هذه الكوارث إلى فقدان أسماء الأبحاث فحسب، وا ٕنما غابت أيضاً أسماء العديد من كبار علماء الشرق في العصر الوسيط. وبخاصة العلماء الذين لم تحفظ أعمالهم من خلال الترجمات إلى اللاتينية، أو الأبحاث التي لم يكن لها وجود في أوربا في العصر الوسيط.

لذلك لم يسلم من أذى التدمير سوى عدد قليل نسبياً من الأبحاث والتي حفظت إلى الوقت الراهن. وهي ما زالت صعبة المنال بالنسبة للعلماء الأوربيين. وبالمعنى الحرفي للكلمة لان تلك الأعمال كانت على شكل مخطوطات، وأحيانا أخرى قطع من مخطوطات فقط، متناثرة في أماكن غير متوقعة أو غير ممكنة الوصول بالنسبة للعلماء الأوربيين. وذلك لان دراستها تتطلب المعرفة الجيدة للغات الشرقية[١].

---

(١) كتبت الأعمال العلمية في البلدان الإسلامية باللغة العربية بشكل رئيسي. وقد لعبت اللغة العربية في الشرق في العصر الوسيط نفس الدور الذي لعبته اللغة اللاتينية في أوربا في العصر الوسيط أيضا. وقد عدت اللغة الفارسية لغة الشعر والأدب والمقالات " العلمية المبسطة "، رغم انه حفظت سلسلة كاملة من الأبحاث ذات المضمون الفلكي باللغة الفارسية. وكذلك هناك بعض الكتابات باللغة السريانية والسوغدية والخوارزمية القديمة.

وا إضافة إلى ذلك تحتاج للمعرفة الكاملة بموضوع التخصص ذاته، ومعرفة ميزات الاتجاهات والتصورات التي كانت سائدة في ذلك الوقت والطرق الاختصاصية حول كيفية وضعها، وخصائص شكل الإبداع عند علماء الشرق في العصر الوسيط[١].

ولهذا فان دراسة العلوم في الشرق في العصر الوسيط لا يمكن أن تكون موفقة وناجحة إلا بتوحيد الجهود بين الباحثين للعديد من الاختصاصات: مثل الرياضيون والميكانيكيون والفلكيون والفيلولوجيون (علماء فقه اللغة) والمؤرخون والفلاسفة وغيرهم.

العامل الثاني: هي وجهة النظر التي كانت سائدة بشكل عام وهي أن تطور العلوم الدقيقة كان يعيش فترة ركود في العصر الوسيط في الشرق، عندما كان التقليد للقديم مفقوداً، ولم يكن قد بدأ بعد أساس العلوم الطبيعية بالتراكم والتجميع. وقد اعتبرت وحتى فترة قريبة من الزمن المقالات العلمية لهذا العصر على أنها عبارة عن أعمال من الشروح المدرسية عن المؤلفين القدماء (وبشكل أساسي أرسطو طاليس) ولا تشكل إلا مقالات عقيمة عديمة الفائدة.

---

(١) إن المثال الطريف عن عدم معرفة هذه الخصائص لدى العديد من علماء الغرب الذين عملوا في هذا المجال –هذه الحقيقة، وهي انه وعلى مدى فترة ز منية طويلة، كان يعد عمر الخيام الشاعر والرياضي والفلكي المعروف شخصيتين مختلفتين في القاموس الموسوعي الذي وصفه كل من بروكفاوز ويفرون، وعلى سبيل المثال يوجد في احد المجلدات مقالة عن العالم عمر الخيام، وفي مجلد آخر – مقالة عن الشاعر عمر الخيام، بينما مصادر العصر الوسيط تتحدث عن عمر الخيام ككاتب للأبحاث العلمية وكمؤلف للشعر العاطفي بأن واحد، ومثل هذه المقالات التي تعطيه وجهاً واحداً كشاعر وعالم ليست بالقليلة بالنسبة للعصر الوسيط في الشرق. وقد كان العديد من كتاب الشعر العاطفي هم من العلماء البارزين في المجالات العلمية أمثال البيروني وأبو علي بن سينا والرياضي المشهور في القرن الثالث عشر نصير الدين الطوسي وغيرهم .

وعند دراسة العلوم في الشرق في العصر الوسيط لا بد أن يتبادر إلى الذهن وبشكل طبيعي حول مدى استقلالية مقالات العلماء الشرقيين. وهل هذه المقالات تقتصر على ترجمات وشروح وتعليقات على كتابات المؤلفين القدماء فقط، ولا تكمن قيمتها إلا في أنهم حفظوا ونقلوا إلى أوربا الغربية الأبحاث اليونانية، وجزئياً الأبحاث الهندية، وهل كان لديهم مادة علمية مستقلة؟ وهل كان لهذا العلم مجال تطبيقي محدد، أو أن علماء الشرق في العصر الوسيط وضعوا وحلوا المسائل الحقيقية بطرق نظرية بحته؟ وهل تشكل أعمالهم ولو بدرجة معينة حلقة وصل على امتداد السلسلة المستمرة لتطور العلوم في العالم، وما هو اختصاصها والى أي درجة كانت أعمال علماء الشرق في العصر الوسيط معروفة في أوربا، وكيف ظهر تأثيرهم على تطور العلوم الأوربية وبأي " آلية " نقلت؟ إن إمكانية وضع مثل هذه الأسئلة لم تظهر إلا في القرن التاسع عشر فقط وذلك بعد أن ظهرت المخطوطات الأساسية لعلماء الشرق في العصر الوسيط، وأصبحت في متناول اليد، حيث يحفظ الآن العديد منها في المكتبات الأوربية والآسيوية والإفريقية. وان محاولة الإجابة على هذه الأسئلة، حتى ولو أنها ليست إلى الدرجة المطلوبة، أصبحت ممكنة فقط في الوقت الراهن، بعد أن تمت دراستها بشكل لا بأس به.

وتمكن هذه الدراسة من التأكيد على أن علماء الميكانيك والفلك في الشرق في العصر الوسيط، لم يحلوا سلسلة كاملة من المسائل التطبيقية فقط، ولم يكن اهتمامهم منصباً على المسائل الأساسية النظرية وحدها، وإنما تمكنوا من الحصول على نتائج عملية كان لها تأثيراً فعلياً على الأسس النظرية، والتي أثرت تأثيراً حقيقاً على سلسلة من المواضيع في العلوم الأوربية، ابتداءاً من القرن الثالث عشر وحتى القرن الثامن عشر.

وعندما نتحدث عن الميكانيك والفلك في الشرق في العصر الوسيط، فإننا نقصد بذلك ما يسمى بدول العالم الإسلامي. وهنا يمكن أن يتبادر إلى ذهن القارئ سؤال لماذا؟

للإجابة على هذا السؤال هناك أسباب عدة:

أولاً: إن وضع عدد من الكتب المتعمقة ليست كثيرة من حيث العدد، وتحيط بدائرة كبيرة من المشاكل والمسائل أمر من المشكوك فيه أن يكون بالإمكان تنفيذه، وهذا ما دفعنا إلى تضييق إطار هذا العرض الدراسي(١).

ثانياً_: لقد تم التصدي لمسائل العصر الوسيط الهندي في علم الفلك وبشيء من الإسهاب في الفصلين الأول والثاني، وذلك أثناء تعرضنا لمسائل علم الفلك في العصور القديمة، إضافة إلى بعض الإشارات في الفصول الأخرى. ولكن ماذا عن الميكانيك بالنسبة للفترة هذه، وهنا يجب الأخذ بعين الاعتبار أن كامل الأبحاث والمؤلفات التي وصلت إلينا من حيث المضمون الميكانيكي، كان مؤلفوها علماء من البلدان الإسلامية.

ومن خلال التحدث عن المراحل الأساسية لتطور علم الميكانيك والفلك في الشرق في العصر الوسيط سيتعرف القارئ على ما كتبه كبار العلماء المختصين في هذا المجال، مع محاولتنا تقدير مكانة هذه المؤلفات، والدور الذي لعبه أصحابها في تاريخ العلوم والثقافة بالمشرق والمغرب، محاولين الدخول والتعمق في الطرق وأساليب العمل التي نهجها المؤلفون في العصر الوسيط – مثل هذا الهدف وضعه مؤلفا هذا الكتاب نصب أعينهم. فإلى أي درجة استطاعا تحقيق هذا الهدف؟ نترك الحكم للقارئ.

---

(١) يمكن أن يجد القارئ ببيليوغرافية (مرجعية) مفصلة بما فيه الكفاية حول هذه الدائرة من المشاكل على سبيل المثال في كتاب روجانسكايا "الميكانيك" في الشرق في العصر الوسيط (موسكو، العلوم ١٩٧٦).

الفصل الأول

الميكانيك والفلك في العصور القديمة:

لا يمكن دراسة وفهم العلوم في الشرق في العصر الوسيط، وبشكل خاص علمي الميكانيك والفلك، إلا إذا تعرفنا وبشيء من التفصيل على المسائل الأساسية لعلم الميكانيك (ومن ضمنها علم حركة النجوم) في العصور السابقة. وتساعدنا هذه المعرفة بتحقيق هدفنا وهو الإلمام بكافة الاتجاهات والوقوف على مختلف مسائل الميكانيك في الشرق، وذلك إذا فهمت ضمن إطارها العام كما نوهنا إلى ذلك في مقدمة هذا الكتاب، رغم إعطاء الميكانيك والفلك في العصور القديمة أهمية كبيرة ليس له ما يبرره.

إن الميكانيك كعلم يبحث عن الأدوات والأجهزة واليتها يمكن أن ترجع إلى أقدم العصور. فقد عرف العجل (الدولاب) منذ العصر الحجري الحديث (النيوليت) وبداية العصر البرونزي. وان صناعة العجلات التي وجدت في دول الشرق الأوسط، لا يمكن أن تكون صنعت على هذا الشكل قبل أن تكون قد مرت بمرحلة الآلة البسيطة، كالإسفين والعتلة وغيرها. ففي البلاد التي عرفت الزراعة المروية استخدم الذراع (العتلة) لرفع الماء. وبدأ استخدام نوع من العتلات البسيطة (الموازين) في مناطق الحضارات القديمة. كما عثرت بعثات التنقيب في منطقة ما بين النهرين على أوزان مختلفة الأثقال.

وصنعت هذه الأوزان عادة من الأحجار القاسية وشذبت بشكل متقن، كما كانت تأخذ في بعض الأحيان أشكالاً فنية متقنة (على سبيل المثال شكل أسد). وقد

حفظت تصاميم هذه الأوزان في نصوص الكتابات المسمارية. ولكن مع الأسف لم تحفظ أشكال الأوزان أو تصاميمها إلى أيامنا هذه.

ففي مصر القديمة توجد معلومات عن الأوزان وافرة أكثر من غيرها. وقد حفظ عدد كبير من مخططات وتصاميم الأوزان والموازين في الكتابات والمخطوطات الهيروغليفية. وقد عثر على ميزان يمثل شكل شخص جالس ويده مرفوعة فوق رأسه. وكذلك وجدت مخططات للموازين في النصوص العلمية والدينية (وجد العديد من الكتابات في كتب الأموات التي غلفت فيها المومياء). وترسم الموازين عادة بشكل مبسط على شكل ذراع نهايتاه محفورتان بشكل صحن توضع الأوزان والمواد الموزونة فيه، ويخترق وسط الذراع محور، حيث يثبت على المحور شاقول لتحديد وضعية الميزان بشكل متوازن وصحيح. ومن بين اللقى التي عثر عليها منقبوا الآثار أوزان مختلفة الثقل على شكل حلقات وكرات وأشكال حيوانات. وقد وجدت على ورق البردي قاعدة للوزن في غاية الدقة.

ولكن لم يعثر العلماء لا في النصوص المصرية القديمة ولا في النصوص المسمارية التي وصلتنا على أية نظرية للوزن، وكذلك لم تحتو هذه النصوص على نظرية لعمل الآلات (الآلات البسيطة).

فإذا أردنا أن نعرف العلم باختصار وبساطة فيمكن القول: إن العلم هو توحيد منتظم (منهجي) لحالات نظرية وطرائق عملية للبحث في موضوع أو عدة مواضيع محددة. ويظهر من هذا التعريف أن تاريخ العلم يبدأ منذ ظهور الأعمال الكتابية المتعلقة بهذا العلم. وهنا يجب التنويه الى أن تاريخ العلم يختلف عن تاريخ التقنية، التي يمكن أن تكون قد بدأت منذ العصر الحجري القديم (الباليوليت) (وقد وجدت في كتابات الباحثين إشارات إلى مثل هذه المواضيع). واستناداً إلى هذا المبدأ يمكن أن يرجع ميكانيك الشرق القديم بجذوره إلى مرحلة ما قبل تاريخ الميكانيك. أما علم الميكانيك فعلى العكس فمن المعروف انه عرف في دولة بابل القديمة، حيث أعطت المراقبة الفلكية دفعاً إلى الأمام لعدد من الأعمال النظرية، وكان ذلك بشكل أساسي

في عصر السلوقيين (القرن الثالث – الأول قبل الميلاد) والعصر الهلنستي في الشرق.

ومن هنا نلاحظ انه ضمن حدود معينة بدأ يتطور الميكانيك كعلم في اليونان القديمة، ففي ذلك العصر ظهرت إلى جانب الاستخدام التقليدي للمعارف التجريبية نظريات الميكانيك. وهذا ما يميز علوم هذا العصر الذي تدعم بالمكتشفات العلمية للشرق القديم الذي مثل مرحلة متطورة من المعرفة الإنسانية.

ولكن عند الحديث عن علم الميكاني ك في العصور القديمة يتطلب منا البرهان على أن علماء تلك العصور فهموا من تعبير ميكانيك ما نفهمه من نفس المصطلح عندما نتحدث عن أسس ومفاهيم الميكانيك في العصور القديمة. ويفهم من كلمة ميكانيك (μηχδνη´) اليونانية – آلة لمختلف أشكال الحيل، وهو المفهوم الأولي لكلمة ميكانيك – " المهارة أو الشطارة ". ومن هنا نجد أن هذا المصطلح لم يستخدم بالنسبة للآلة واليتها فقط بل استخدم لمختلف أشكال "الحيل والدهاء" والاختراعات والاكتشافات بشكل عام. ولكن كلمة ميكانيك استخدمت بشكل محدود إلى درجة اكبر. فعلى سبيل المثال أطلقوا على الآلات التي استخدموها في رفع الممثلين على المسارح اليونانية، وكذلك على الأجهزة التي تستطيع من خلال جهد بسيط أن ترفع مواد ثقيلة إلى ارتفاع كبير بالميكانيك أيضاً .

يطلق باب الاسكندراني (Iv – III ق.م) العالم الذي عاش في العصر الهلنستي اسم ميكانيكي على كل شخص يصنع الأدوات المعدنية، وعلى صانعي أجهزة رفع الماء، وعلى مخترعي الأجهزة الدقيقة الصنع التي تعمل على قوة الماء وقوة الرياح وعلى نظام السلاسل التي وضعها هيرون الميكانيكي اليوناني، ومن ضمنها موديلات (نماذج) حركة الأجرام في الكرة السماوية. كما أطلقت كلمة ميكانيكي في أواخر عهد الإمبراطورية الرومانية على كل مهندس يستطيع أن يقوم بإعداد جوانب مختلفة من الأجهزة المستخدمة في أعمال البناء أو الأعمال الحربية، أو الأدوات التي يمكن استخدامها في المجالات العملية.

وأطلقت كلمة "ميكانيكي" على مدى مئة سنة استمرت حتى القرن السابع عشر ميلادي على كل من عمل في المجالات العملية كصنع الآلة واليتها. أي اعتبرت كلمة ميكانيكي إحدى أنواع "الفنون" الخمسة التي اعتمدت على النظرية الأساسية للآلات البسيطة (العتلة، البكرة، دارة اللف أو الدولاب، الإس الميكانيك والفلك م–٢ الميكانيك فن يعتمد على القاعدة النظرية لتوازن الأجسام تحت تأثير القوى. وقد كانت النظرة إلى علم الميكانيك في العصر القديم والعصر الوسيط كشكل متدن من أشكال المعرفة، وذلك بالمقارنة مع العلوم الأساسية، لان استخدام الأساليب الميكانيكية يشوش دقة ووضوح العلوم الأساسية.

يرجع مفهوم الميكانيك كعلم عن الآلة والتطبيقات العملية لها إلى غاليلي. وربما كان نيوتن من أوائل الذين وضعوا معنى جديداً لهذا المصطلح القديم، حيث يفهم من كلمة ميكانيك دراسة الحركة بشكل عام. أما عند نيوتن فلم يكن لهذا المصطلح ذلك المفهوم الواسع الذي يحمله الآن، بل كان يعتبره كعلم عن الحركة والقوى في الطبيعة، ولكنه لم يدخل معه دراسة توازن الأجسام تحت تأثير القوى، ذو العلاقة الوثيقة مع علم الميكانيك.

من هنا نلاحظ أن مفهوم الحركة كموضوع أساسي في علم الميكانيك لم يتبلور إلا في نهاية القرن السابع عشر الميلادي. أما في الوقت الحاضر فيفهم من كلمة علم الميكانيك كافة أشكال الحركة الميكانيكية التي يشملها علم توازن الأجسام تحت تأثير القوى. أما نظرية الآلة واليتها فتعد إحدى فروع هذا العلم.

وقد ارتبطت خواص وصفات الميكانيك في العصور القديمة بخصائص الاقتصاد لمجتمع الرق الذي اتصف بتقدمه البطيء جداً في مجال الميكانيك. ولم يساعد انتشار وتطور الأدوات الميكانيكية إلا على بعض الأنشطة فقط، أما علاقته مع عمل العبيد فكانت شبه معدومة أو ضعيفة للغاية، إنما كانت علاقة الميكانيك بشكل رئيسي مع عمل الأحرار كالعاملون في مجال الإنتاج الحربي والأعمال البحرية والحرف المختلفة (النسيج، صنع الفخاريات، صناعة المجوهرات) وكان ارتباط

الميكانيك مع هذه الأشكال من الإنتاج من خلال التصاميم المختلفة بمساعدة الأدوات الجديدة المبتكرة.

ومن الحوافز التي دفعت على تطوير العمل الميكانيكي تطور التجارة الداخلية والتجارة الخارجية، حيث تطلبت الأعمال التجارية الحاجة إلى تصميم مختلف أشكال الموازين، وا إيجاد طرائق جديدة للوزن، أي استخدام الذراع (العتلة) بمختلف تعديلاته. ورغم ذلك يمكن القول أن الميكانيك في العصور القديمة كما هو الحال بالنسبة لمختلف أشكال العلوم بشكل عام اتصف بأنه علم حديث، أي انه يختلف من حيث الأساس عن المنجزات العلمية في الشرق القديم. ويقع علم الميكانيك على درجة محددة من تطور المعارف البشرية. وقد ظهرت النظريات الميكانيكية في ذلك العصر إلى جانب الاستخدام العادي للمعارف التجريبية.

وهنا يمكن تحديد اتجاهين رئيسين في ميكانيك العصور القديمة. كما يمكن متابعة هذين الاتجاهين خلال مراحل تطورهما.

الاتجاه الأول: وهو الاتجاه النظري وينطوي تحت هذا الاتجاه الدراسات الفلسفية حول الزمان والمكان والحركة والمادة والطرائق الرياضية المستخدمة في علم الفلك ودراسة التوازن على أساس الطرائق اليونانية للبديهيات الهندسية.

أما الاتجاه الثاني فهو الاتجاه الحرفي للمهندسين المعماريين والمهندسين بشكل عام، أي الميكانيك التقني الذي يستند على الأساس التطبيقي والذي يفسر نتائج عمل الآلات البسيطة.

ومن هنا نجد آن الخواص الأساسية لميكانيك العصور القديمة هو انقسامه ضمن إطاره النظري إلى الدراسات حول الحركة (علم القوى المحركة ودراسة التوازن) التي امتدت على مدى فترة طويلة استمرت حتى القرن السابع عشر الميلادي دون أن تكون هناك علاقة لاحدهما مع الآخر (الحركة والتوازن). وان دراسة الحركة، أي دراسة مسالة طبيعة الحركة تعد من أهم المسائل في فلسفة العصور القديمة. أما الدراسات عن التوازن فقد ساهمت مساهمة كبيرة في توحيد الاتجاهين الرئيسين

النظري والتطبيقي. وعلى هذا الأساس تم وضع الموديلات (النماذج) الهندسية لحركة الأجرام السماوية.

مما ذكر أنفاً يمكن تحديد اتجاهات ثلاثة رئيسة في ميكانيك العصور القديمة:

١. الدراسة النوعية العامة عن الحركة (الديناميك).
٢. الستاتيك (التوازن) نظرياً وتطبيقياً.
٣. حركة الأجسام من الناحية الهندسية (في حقيقتها نظرية رياضية لها علاقة مع علم الفلك الذي كان له في تلك الأيام مجالات تطبيقية هامة.

وقد وصل علمي الستاتيك وعلم الحركة الهندسية للأجسام إلى مستو رياضي عال مبني على الاستخدام الهندسي كعلم المثلثات وطرائق الانفينيتيزم[١].

الستاتيك (التوازن):

يرجع تاريخ ظهور الستاتيك كعلم مستقل " فن الوزن " إلى العصر القديم، حيث وضع إلى جانب الحساب "فن الحساب". وكما هو الحال بالنسبة لعلم الحساب قسم الستاتيك إلى نظري وتطبيقي. كما يمكن أن يرجع إلى العصر القديم (اليوناني والروماني) ولادة اتجاهين رئيسين في علم الستاتيك.

١- الستاتيك الهندسي الذي يتميز بمنحاه النظري.
٢- الكينماتية (علم الحركة الهندسية للأجسام) التي تهتم بالتطبيق العملي.

وقد توصل التطور في الاتجاه النظري الهندسي إلى وجوب حساب التصاميم الهندسية وحساب توازن الأجسام الثقيلة المعلقة بنقطة ما.

وكذلك درست قوانين التوازن على مخطط الذراع (العتلة) الثابتة والمتحركة. ويرتبط بمفهوم التوازن إيجاد مركز الثقل.

---

(١) الانغينيتيزم هي طرائق لها علاقة مع مسائل الاستمرار (اللانهاية) والانتقال اللانهائي وتحديد تطرف التابع حسب تصورهم في ذلك الوقت.

لذلك فان هذا المنحى الهندسي يحتاج إلى نظرية رياضية متطورة. ومن أوضح الأمثلة الدالة على تطور هذا الاتجاه هو ستاتيك ارخميدس المبني على القاعدة الهندسية لإقليدس..

أما القاعدة الأساسية للاتجاه الكينماتي فهو التطبيق العملي في استخدام الآلات البسيطة في رفع ونقل الأثقال. وقد درست قوانيين الستاتيك في هذه الحالة على العتلة المتحركة (غير المتوازنة)، ولكن عند استخراج النظريات الأساسية أو المفاهيم فلا نعرف هل كان واضحاً لديهم أو غير واضح أنهم استخدموا في ذلك بعض المفاهيم الديناميكية. ويقترب هذا الاتجاه من اتجاه "المسائل الديناميكية " لأرسطو طاليس.

وعند الحديث عن اتجاهين لتطور الستاتيك القديم علينا أن ناخذ بعين الاعتبار بان عصرين مختلفين من حيث التخصص. فالستاتيك الهندسي لارخميدس يرجع إلى العصر الهلنستي المبكر لتطور العلوم في اليونان، ذلك العصر الذي يعد عصر ازدهار الرياضيات في اليونان وازدهار العمل في البديهيات الهندسية التي يعتمد عليها منهجاً وتركيباً.

أما الاتجاه الثاني الكينماتي فيرجع إلى العصر الهلنستي المتأخر (I–II ق.م) (عصر ازدهار الإمبراطورية الرومانية)، حيث بدأ مركز الثقل العلمي يتحول عن المسائل النظرية إلى العمل بالطرائق الحسابية، والتطبيقات العملية، رغم أن الوصفية طرحت عدة مسائل تتميز باتجاهها الكينماتي ولكن ضمن حدود ضيقة، ومن الممكن أن يرجع هذا الاتجاه إلى فترة مبكرة، وللأسف لم يصل إلينا شيء من أبحاث العصر الكلاسيكي.

وفيما يلي وحسب الجدولة التاريخية سنتعرض للستاتيك الهندسي لارخميدس. وهنا لا بد من الأخذ بعين الاعتبار أن نظرية ارخميدس رغم الطريقة الهندسية في وضعها لم تكن تجريدية تماماً. وبراهين ارخميدس بنيت على نظريات لم تكن جميعها مسلمات هندسية. فالعديد من براهينه هي

فرضيات مستمدة من التجارب والتطبيقات العملية التي كان يعايشها يومياً. وعلى أساس هذه النتائج التجريبية البسيطة قام ارخميدس بتعميمها معتمداً على العلوم الرياضية في إعطاء صورة لنظرية علمية دقيقة.

قام العلماء اليونان بتقسيم مختلف أشكال الحركة الميكانيكية إلى حركة طبيعية تنشأ ذاتياً دون تدخل أي مؤثر خارجي (على سبيل المثال عملية هبوط الأجسام الثقيلة)، والحركة القسرية (جبرية) التي تنشأ نتيجة تدخل مؤثر خارجي. فمنبع الحركة الطبيعية هو سعي الجسم بطبيعته للحركة (ρο I η).

فأثناء الهبوط الحر للجسم الثقيل لا يظهر هذا السعي. أما إذا تصادف الجسم أثناء هبوطه بعائق في عدة نقاط ولم يمر خط التأثير المعاكس عبر مركز الثقل عندها يكون سعي بقية أجزاء الجسم مساعدة على استمرار الحركة. وفي النتيجة يبدأ الجسم بالدوران إذا لم يكن هذا السعي متوازناً. ويمثل هذا التوازن في حقيقته توازناً لحظياً (آنياً).

من هنا نلاحظ أن المسألة الأولى للستاتيك عند اليونان كانت في البداية تحديد خاصية السعي للحركة (إذا لم يكن تحديد قيمتها فتحديد اتجاهها)، وبالتالي إيجاد مركز الثقل. وكلا المسألتان وضعهما وحلهما ارخميدس، الذي وضع علاقة رياضية دقيقة لقانون العتلة، وحدد مركز الثقل كنقطة، في حال ثباتها يحتفظ الجسم بحالة التوازن في كافة أوضاعه.

وصل إلينا من مؤلفات ارخميدس في الميكانيك مجموعة أبحاث ضمَّنها في كتابين. الكتاب الأول "عن توازن الأشكال المستوية أو عن مركز الثقل للأشكال المستوية" والكتاب الثاني " عن الأجسام العائمة " وكذلك في كتابي " ايفود أو رسالة إلى ايراتوستين حول النظريات الميكانيكية " وقد كان أول عمل قدمه ارخميدس في الميكانيك هو كتاب " الدعائم أو الركائز " وكتاب " عن الأوزان " لم يصل منهما شيء إلينا، ولكن حفظت مقتطفات منهما في الأعمال التي قدمها كل من هيرون وباب الاسكندراني في فترة متأخرة، ويمكن الحصول على بعض المعلومات عن هذه

المؤلفات من الحواشي المحفوظة عنها والتي كتبت في القرنين الخامس – السادس ميلادي من قبل يقتوكيا وسيمبليكا.

لم يبق من الأعمال المبكرة لارخميدس أي اثر عن مفهوم مركز الثقل. وكل ما وصل كان ضمن الدراسة العملية لتوزع حمولات الجسور بين الدعائم. أما تحديد مركز الثقل المعمول به فمن الواضح انه جاء متأخرا قليلاً ووجد في إحدى الكتابات المحفوظة عند باب الاسكندراني، حيث كتب:

"مركز الثقل لجسم ما هو نقطة موجودة بداخله، وتتميز هذه النقطة انه إذا علق خلفها جسم ثقيل، فان هذا الجسم يبقى في حالة السكون ويحفظ الوضع الأول الذي كان عليه".

وجد مفهوم مركز الثقل في التطبيق العملي في مقاطع من كتاب " عن العتلات ". ومن الواضح أن الأسلوب الرياضي لنظرية مركز الثقل أول ما وجد في المقالات غير المحفوظة عن " التوازن ".

تعد أعمال ارخميدس المبكرة على غاية من الأهمية، وذلك لأنه أدخل إضافة إلى مفهوم مركز الثقل مفهوم المركز الآني (اللحظي) وخاصة بالنسبة للأشكال المستوية الذي يظهر في تعليقات يفتوكيا على الشكل التالي:

"يسمي ارخميدس المركز الآني للشكل المستوي نقطة، عندما يعلق تحت هذا الشكل جسم ما يبقى موازياً للأفق، ويشكل المركز الآني مستويين أو أكثر يحددهما ارخميدس في العتلة التي تبقى موازية للأفق، إذا ثبت في أطرافها أشكال معينة".

وضعت نظرية العتلة في الكتاب الأول "عن توازن الأشكال المستوية ". وتعد هذه النظرية في غاية الأهمية، لأنها أساس البديهية الموضوعة عن نظرية توازن الأجسام. ويفترض بعض الباحثين أن الكتاب الأول هو أول مؤلفات ارخميدس. أما الكتاب الثاني فيحتوي على طرق تحديد مركز الثقل للقطع المكافىء.

يعد قانون توازن العتلة لارخميدس مقدمة لعدد من فرضياته، على سبيل المثال الأثقال المتساوية على أطوال متساوية تكون متساوية. ومراكز الثقل للأشكال المستوية المتشابهة، تتوحد مراكز الثقل فيها وكذلك يفترض أن مركز الثقل لجسم معلق على خيط يكون على مسار الخيط، ووزن ذلك الجسم يتمركز في مركز ثقله.

يمكن هذان الافتراضان من التوصل إلى مراقبة سير الجسم الحقيقي بالنسبة للتصورات الرياضية عن الأجسام المتناسبة والمتجهة مع اتجاه الخيوط المثبتة الأجسام مع العتلة. بهذا الشكل يمكن القول أن أرخميدس هندس المسألة بشكل كامل، ناظراً إلى العتلة نظرة مجردة غير متوازنة وبدون ان يربطها مع خواص الوسط الموجودة فيه.

وقد استخدم ارخميدس أثناء براهينه افتراض آخر يختلف عن البديهية وهو كما يسميه مبدأ التناوب الذي يمكن أن يتشكل على الشكل التالي:

لا يختل توازن العتلة إذا كان الثقل معلق في نقاط محددة من العتلة، فإذا حذف من الثقلين نصف الوزن تبقى نقاط التعليق بشكل متناظر بالنسبة لنقطة تعليق الحمل المتبدل.

وبعد ذلك أثبت ارخميدس عدة نظريات. ففي الثالثة منها يتم تثبيت فكرة الافتراضات المتشكلة لديه. وفي النظرية الرابعة نواجه تحديد مركز الثقل لنظام جسمين وسط المستقيم الذي يوحد بين مركز الثقل لكل من هذين الجسمين.

أما في النظرية الخامسة فقد أوجد ارخميدس مركز الثقل لنظام ثلاثة أجسام موضوعة بشكل يكون فيه مركز الثقل المتوسط بينهم واقع وسط قطاع يوحد مركز الثقل للأطراف، ويتطابق مركز الثقل لمثل هذا النظام مع مركز الثقل للجسم الأوسط . ثم اثبت القانون الأساسي للعتلة.

ويستخدم ارخميدس النظرية السادسة في قياس الأشكال. ويطبق النظرية السابقة على الأشكال التي يمكن قياسها، وأثبتت أن قانون العتلة يعتمد على النظريات السابقة. أما الكتاب الثاني فقد طبق على الأشكال المسطحة ذات الأضلاع المنحنية.

تعد بديهيات ارخميدس والقانون الأساسي للعتلة أول خطوة فعلية في وضع مفهوم لحظة القوة الآنية. وقد اثبت إن تأثير الثقل على العتلة يتناسب طرداً مع قوة التأثير وعكساً مع المسافة عن مركز العتلة (نقطة استناد العتلة).

كما يحدد ارخميدس بوضوح كاف القوة الناتجة على مسافة ما من نقطة الارتكاز ووضعها بالنسبة لهذه النقطة (ولهذا سميت فيما بعد لحظة القوى الآنية).

ففي الكتاب الأول توجد أبحاث تنتهي إلى نظريات عن تحديد مركز الثقل للمثلث ومتوازي الأضلاع والمعين.

ويحدد في الكتاب الثاني (ارخميدس) مركز الثقل في أشكال القطع المكافئ والخطوط المستقيمة القاطعة له. كما اثبت في عدد من النظريات مثل: " لكل قطاع مستقيم محدد قطاع مكافئ ومركز ثقل يقسم قطر هذا القطاع، بحيث تكون القطعة التابعة لقمة القطاع اكبر بمرتين من القطعة الأساسية (النظرية الثامنة).

ويتحدث ارخميدس عن كيفية إيجاد واستخدام البراهين على هذه النظريات، كما يتحدث عن العلاقة الوثيقة بين الميكانيك النظري وبين الطرائق التي عمل بها في الهندسة. ويمكن ذكر مثال على استخدام الميكانيك في الهندسة هو تحديد المسافة للقطاع المكافئ " في مساحة القطاع المكافئ " المبنية على أساس استخدام العتلة واستخدام مركز الثقل للأشكال المستوية.

ويستخدم الايفود قانون العتلة كأساس لطريقة الهندسة التكاملية وكوسيلة لحل المسائل الهندسية وبمساعدة الطريقة الهندسية حل ارخميدس على سبيل المثال مسألة مساحة القطاع المكافئ التي تحتوي على مساحة الشكل المحدود بمنحني من الدرجة الثانية ومفصولين بخطين مستقيمين والمحصورة بتحديد مركز الثقل للشكل المحدود بقطاعين مسقيمين. وترجع الأهمية الكبيرة لنظرية الايفود كونها تعد تمهيداً عن مركز الثقل للمخروط. ولإثبات هذه النظرية قسم ارخميدس المخروط إلى مستويات متوازية على شكل أقراص (دوائر) رقيقة متساوية السماكة، ثم حصر المسألة بإيجاد مركز الثقل للقطاع المكافئ. وهناك مؤلف قيم آخر لارخميس في الميكانيك تدور أبحاثه " عن الأجسام العائمة "، حيث يتضمن هذا المؤلف أسس الهيدروستاتيك.

وكما تروي الأسطورة المعروفة أن ارخميدس اكتشف قانونه صدفه، ولكن من الواضح أن هذه الصدفة كانت مبنية على أسس، مثل الصدفة التي تقال عن نيوتن في اكتشافه لقانون الجاذبية ، وفي الواقع آن اكتشاف هذا القانون كان نتيجة لعمليات تجريبية طويلة وتعمق فكري كبير. وقد كتب ارخميدس يقول: في حالة التأثير المتبادل بين الأجسام السائلة والأجسام الصلبة فان ذرات الأجسام السائلة تتدافع مع الأجسام الصلبة كأجسام أكثر كثافة، ومن الواضح أن هذه الفكرة ترجع بأصلها إلى الذريين القدماء. وان الجانب النوعي المتميز في نظرية ارخميدس هي النظرة إليها كتطور دقيق وأكثر وضوحاً من تصورات وعمل أرسطو طاليس عن الحركة وتوازن الأجسام في الأوساط المادية المختلفة.

يتألف عمل ارخميدس من كتابين، يتضمن الكتاب الأول القوانين الأساسية لتوازن الأجسام في السوائل. وهنا نجد أن ارخميدس يحدد بجملتين منطلقاً من فهمه العملي لشكل الأرض الكروي، إن السطح الحر للسائل وكذلك سطح قاع البحار جميعها لها شكل كروي، ويتوافق سطح هذه الكرة مع مركز الأرض. وفيما بعد بحث ارخميدس عن شروط التوازن لأجسام كروية غاطسة في الماء يكون سطحها مثل سطح ارض البحار، حيث يفترض ارخميدس أنها كروية. وفي صلب استدلاله تقع نظريته التي تحدد مركز الثقل للقطاع المكافئ الدوار.

وفي الكتاب الثاني وضع ارخميدس القانون الذي يحمل اسمه، ويعالج مجموعة مسائل حول التوازن واستمر اره بالنسبة للجسم العائم على سطح السائل (يفترض هنا سطح السائل مستو). وجميع المقترحات التي قدمها ارخميدس مثبتة بمساعدة مقولة واحدة له هي: " تتحدد مراكز الثقل في الجسم وذلك بالعلاقة بين أجزائه الطافية فوق سطح السائل وحجم الجزء المغمور. ويعتبر توزع هذه النقاط شرطاً للتوازن على احد هذه الخطوط العمودية"[١].

---

(١) في المفاهيم الاصطلاحية المعاصرة –خطوط المراكز.

وهكذا فان قوة الثقالة للجسم وشدة الضغط الهيدروستاتيكي يؤثران باتجاه معاكس على امتداد هذا الخط، وفي حالة غمر الجسم في السائل فان هذا الجسم يتوازن بالتبادل، ومن اجل استمرار هذا التوازن في حالة انحراف الجسم عن هذا الوضع فانه يسعى من جديد للعودة إلى وضعه الأول.

تنتهي مسالة الفراغ (الحيز المكاني عند ارخميدس إلى النظرة للمقطع المستوي المار عبر الكرات والقطوع الناقصة. ومع المحافظة على الوصف المعطى عن التواز ن فان ارخميدس يعتبر هذا المستوي مقياساً للقطاع (بشكل رئيسي طول المحور) وللعلاقة بين كثافة الجسم والسائل فإذا كانت علاقة المستوي مساوية للصفر عند ذلك يقع القطاع بكامله خارج سطح السائل. ويؤدي إثبات هذه المقو لات إلى النظر في اللحظة الثنائية (الزوجية) المتشكلة من ثقل القطاع وشدة ضغط كمية السائل المزاحة، وسوف يوجد الجسم في حالة التوازن، أما إذا كان منحرفاً عن هذا الوضع فان لحظة التوازن سوف تتجدد.

من هنا نلاحظ أن ارخميدس يتعرض في هذا الكتاب كما هو الحال في الكتاب الأول إلى حالة استمرار التوازن فقط. ومن المهم أن نشير إلى أن طرائق نظرية القارب المعمول بها في القرن الثامن عشر وحتى في القرن التاسع عشر ميلادي تتشابه إلى حد كبير مع المدخل الارخميدسي في دراسة القطاع المكافئ.

وكانت نظرة ارخميدس في الحقيقة إلى التشابه كما يسمى بسطح المراكز، أما مفهومها فقدم في بداية القرن التاسع عشر ميلادي من قبل ش. ديوبن. بينما نظرة ارخميدس فكانت حول حالات جزئية منفردة فقط، ولم يتمكن ارخميدس من إعطاء نظرية عامة، ولكن تكمن عبقريته الفذة انه رغم بساطة الأدوات والوسائل المستخدمة استطاع أن يرقى إلى درجة عالية يتطلب بلوغها قرون عدة. ولم يشتهر ارخميدس بأعماله النظرية فحسب، وا نما يرجع إليه الفضل بما قدمه من تصاميم ومخططات، استخدمت بشكل رئيسي في صنع قاذفات الحجارة والمجانيق التي استخدمها أهل

مدينته سيراكوز في الدفاع ضد الرومان. وقد حفظت صور عن هذه المخططات عند المؤرخين القديمين بلوتارك وبوليبي.

وكما ذكرنا أنفاً، يرجع الاتجاه الكينماتي في الستاتيك إلى العصر الهلنستي المتأخر وأصبحت المسألة التطبيقية الأساسية في الميكانيك في تلك الفترة هي البحث عن شروط توازن القوى في الآلات البسيطة، حيث مكن ذلك من ظهور الشكل الأول لمبدأ الحركات الممكنة (سميت بالقاعدة الذهبية للميكانيك). ويميز العصر الهلنستي المتأخر أيضاً بتمازج وتشابك كلا فرعي تطور المفاهيم العامة للميكانيك (احدهما ذو علاقة وثيقة مع الفلسفة والآخر له اتجاه عملي) مع بعضهما البعض بدرجة معينة. ففي المجال التطبيقي وضعت إلى جانب الأسئلة التطبيقية مسائل فلسفية بحتة.

إن المسائل الميكانيكية التي نسبت إلى أرسطو طاليس والتي ينضوي تحتها الاتجاه الكينماتي في الستاتيك، ترجع إلى مجموعة الاتجاهات العملية، وقد تبين من خلال أسلوب العرض وبعض خواص هذه الكتابات أنها لم تكتب على أساس الميكانيك التطبيقي، ولكنها اقرب إلى الاتجاه الفلسفي الذي ينتسب إلى المدرسة الارسطو طاليسية. وهناك وجهات نظر متباينة حول الفترة الزمنية التي صدرت فيها هذه الكتابات.

وتُرجع بعض وجهات النظر هذه الكتابات إلى القرن الثالث قبل الميلاد. ويؤيد وجهة النظر هذه ب. تانيري الذي يعتبر أن مواضيع المؤلف واحدة من خلفاء أرسطو طاليس وكانت بتوجيه إلى ليكيم وستراتون من لامبساك. أما وجهة النظر الثانية فترجع هذه الكتابات رغم التصورات النظرية البحتة التي تتضمنها إلى الفترة التي عاش فيها أرسطو طاليس، وهي من حيث المضمون والتخصص اقرب إلى العصر الهلنستي المتأخر، وبشكل أكثر دقة ترجع إلى زمن ميلاد الارسطو طاليسية في القرون الأولى للإمبراطورية الرومانية، ومن الواضح أنها كتبت في مصر.

ويحتوي هذا البحث (المسائل) على ٣٥ فصلاً، ويشمل كل فصل على أسئلة وأجوبة مفترضة، تكون أحياناً على شكل أسئلة لم تصغ على شكل مسائل، وقد وضعت لها أجوبة أيضاً. وكانت هذه الأجوبة على شكل افتراضي بحت.

وتعد العتلة (الذراع) الموضوع الأساسي في المسائل الميكانيكية. وقد نظر إلى مبدأ العتلة كمبدأ عام في الستاتيك. لهذافان جانباً كبيراً من محتويات هذا البحث هو وصف لتعديلات العتلة التي تشكل حجر الأساس لجميع الآليات (ميكانيكية) المدروسة، التي يمكن أن تظهر في الحالات المختلفة للوزن، وكما هو الحال في مختلف الأشكال الناتجة من الحركة الميكانيكية (في العتلة)(١).

إن السبب الأساسي لتأثير العتلة كما يراها مؤلف البحث هي كما يلي:

عند الدوران حول قرص تتحرك النقاط الأبعد عن محور الدوران بسرعة اكبر من سرعة النقاط الأقرب. ونتيجة لذلك فان النقطة المرسومة على شكل دائرة تسهم في حركتين. فلو أن هاتين الحركتين ارتبطتا في علاقة ما (أي كانتا متساويتين)، عندها تتحرك النقطة على خط مستقيم مشكلاً مثلث قائم مائل يمتد على قطاع يتوافق مع هذه الحركة.

وينظر المؤلف إلى الحركة الدائرية للنقطة وكأنها ناتجة عن حر كتين:

"طبقاً للحركة الطبيعية" أي حركة ظلية (ظل الزاوية) وحركة معاكسة لها "أي السعي نحو المركز" والتي تحرف النقطةعن مركزها الطبيعي، والحركة المائلة "خلافاً للحركة الطبيعية" وتكون في الدائرة الكبرى أقل من الدائرة الصغرى. ولهذا السبب فخلال فاصل زمني واحد فان النقطة الأبعد عن مركز الدائرة سوف تتحرك بشكل أسرع وترسم قوساً أكبر من قوس النقطة الأقرب. فإذا كانت كلا الحركتين مطابقة للواقع ومخالفة له فإنها تبقى مستمرة، أي انه إذا كانت كلا الحركتين مستقيمتان ومتساويتان فان الحركة الناتجة تكون على شكل متوازيات متساوية مرسومة على هذه الحركات." يثبت المؤلف فيما بعد انه إذا كان للنقطة حركتان لا توجد بينهما أية

---

(١) هنا وفيما يلي استخدمنا ترجمة للروسية بحث غير منشور ترجمه ي – ن – نيسيلوفسكي (المؤلف).

علاقة وفي أي وقت من الأوقات (أي غير متساوية) عندها فمن غير الممكن أن تكون النتيجة النهائية للحركة مستقيمة ").

من هنا نجد أن سبب لحركة المنحنية حسب رأي المؤلف "المسائل" هي العناصر غير المتساوية للحركة، أي عدم تساويها.

يصيغ المؤلف قاعدة الأوزان (الأثقال) على أساس هذه الاستدلالات، مبيناً انه تحت تأثير هذا الثقل أو ذلك فان نهاية أذرع الموازين سوف تتحرك في هذه الحالة بشكل اكبر، كلما كانت أكثر بعداً عن حبل التعليق، أي عن نقطة التعليق. وفيما بعد وضع قاعدة العتلة (الذراع) منطلقاً من المفاهيم الكينماتية: توازن الأثقال المعلقة في نهايتي ذراع العتلة، وتتعلق مع السرعات التي تحصل عند انتقال (تغير) هذه النهايات. وبهذا الشكل نجد أن خواص العتلة تتحدد بخواص ذراع الموازين، الذي ينظر إليه كتساو مباشر لكتفي العتلة من النوع الأول.

استخدمت في الفصول الباقية من البحث "المسائل" قاعدة العتلة لتفسير الآلية (الميكانيكية) الموجودة في العتلة وحل مختلف المسائل التقنية. وتفسير أثر الفأس والاسفين والمجذاف والمقود ودولاب العربة والمركبات وآلات القذف الحربية (العرادة) وشروط توازن العوارض الثقيلة على دعامة واحدة وغيرها.

ففي المناقشات يميز المؤلف في كتاب "المسائل" بين نقطتين أساسيتين. ففي النقطة الأولى مفهوم منشأ الحركة المنحنية نتيجة الحركتين المستقيمتين اللتين لا تقفان مع بعضهما في علاقة ما.

وفي النقطة الثانية وضع المؤلف مبدأ توازي الحركة. وان مفهوم توازي أضلاع للسرعات وحقيقة الحركة المنحنية ير بطها المؤلف "المسائل" بمفهوم القطاعات[١] غير المقاسة، ذات الأهمية الخاصة.

---

(١) في الاصطلاحية المعاصرة ينحصر ذلك بالنظر في النهايات الدنيا من الدرجة الأولى والثانية.

من المعروف أن مبدأ توازي أضلاع السرعات عرفه ارخميدس واستخدمه في البحث عن "اللوالب" وقد استخدمه بشكل متطور في شكل البنية وحل الحركة. وقد عرف هذا المبدأ قبل عهد ارخميدس بفترة طويلة.

ويرجع هذا التصور (توازي أضلاع السرعات) على الأغلب إلى فترة أكثر قدماً، ولكن لم تصل إلينا المؤلفات للمؤلفين القدماء التي استخدمت كمصادر في كتابة مؤلف "المسائل". وان المناقشة حول الحركة المنحنية كنتيجة معقدة للحركتين المستقيمتين، اللتان لا توجد بينهما أية علاقة، فمن حيث الأسلوب والطرائق فإنها ترجع إلى نظرية العلاقة لأرسطو طاليس –يفدوكس. وا إذا لم ترجع إلى يفدوكس نفسه فإنها تنتمي إلى مدرسته.

من كل ما تقدم يمكن الافتراض أن مؤلف "المسائل" هو ممثل للارسطو طاليسية الهلنستية المتأخرة، ولكن من سياق العمل في أبحاثه، يبدو جلياً أن المؤلف استخدم مؤلفات في الميكانيك لم تصل إلينا.

وقد وصل إلينا من ميكانيك عصر الهلنستية المتأخرة، حيث كان يشغل مكانة هامة عند علماء مدرسة الاسكندر العلمية، أمثال هيرون مؤلف كتاب المعين العام، وهو كتاب فريد من نوعه عن الستاتيك القديم، وقد وصل بنصه الحقيقي من خلال الترجمة العربية التي قام بها قسطا بن لوقا. وكذلك وصلت إلينا مقاطع منفصلة من النص اليوناني حفظت مترجمة عن باب الاسكندراني.

كان هيرون بارعاً في تعميم العلوم، كما كان مهندساً ورساماً. أما في ميدان الرياضيات فترجع تعليقاته إلى "البدايات" لاقليدس وفيتريك، وفي الميكانيك التطبيقي: "آلات الهواء المضغوط" والآلية (الميكانيكية) الناتجة عن تأثير البخار أو الهواء الحارين أو المضغوطين، ودعمت الأوتوماتيكية "شرح للأجهزة المتحركة ذاتياً بصورة مستمرة، و"البيلوبويكا" (مبادئ تحضير أقواس الرماية والمجانيق).

ضمن هيرون كتاباته عن الميكانيك مقالات ذات مضمون فلسفي بحت، وفقرات تتصدى للأسئلة النظرية، مكتوبة في تقليدين ارخميدسيين، وقواعد عملية بحته وشرح لأساليب تقنية.

ومن هنا نلاحظ أن الاتجاهات النظرية والتطبيقية للميكانيك القديم وجدت في عمل واحد واتحدت في مضمونها بشكل كامل، حيث كان يسود فيها في كل مكان تقريبي الشكل الصوري (الشكلي).

تتألف أبحاث هيرون من ثلاثة كتب. يحتوي الكتاب الأول على أسئلة نظرية إلى جانب المسائل الهندسية و المواضيع الأخرى المختلفة (وضع نظرية الأشكال المتشابهة) ومسألة مضاعفة حجم المكعب. ويتعرض في هذا الكتاب إلى الأسئلة حول نقل الحركة بمساعدة البكرات المعلقة المشكلة لحركات على مبدأ الأضلاع المتوازية، وتوزع الأثقال بين الدعائم، وتحديد مركز الثقل، وعناصر النظرية الارخميدسية في التوازن. والتثبت من قاعدة الأضلاع المتوازية بالنسبة لحالة تركيب خطين مستقيمين متساويي الحركة فقط. ولم ينظر إلى الحركة المنحنية عندما تكون كلا الحركتين "اللتان لايوجد بينهما أية علاقة". وفي الكتاب أيضاً باب عن التوازن يضع فيه هيرون مضمون "كتاب الدعائم" لارخميدس.

أما الكتاب الثاني فقد خصص " للميكانيك " وشرح آلية (ميكانيكية) الفعل والاستخدام العملي للآلة البسيطة الخامسة. ويقدِ هيرون في هذا الكتاب جزءً من "كتاب الدعائم " و " كتاب عن العتلة " لارخميدس ويتصدى للآلية (الميكانيكية) في مختلف أوضاع العتلة والبكرة والقنطرة (القوس) واللولب. أما عن نظرية العتلة فان هيرون يقول أنه طور فكرة ارخميدس الموضوعة في كتاب "عن التوازن". أما بالنسبة للأسئلة والأجوبة فان هيرون يتصدى إلى ١٧ مسألة، يذلل فيها تأثير الآلات البسيطة. ويتعرض في ختام الكتاب الثاني إلى " المسائل القديمة " والمسائل العملية في تحديد مركز الثقل.

أما الكتاب الثالث فيتضمن شرح لتصاميم ومخططات الأجهزة المختلفة بالنسبة لرفع الأثقال وأشكال المكابس التي تعد من تصاميم الآلات البسيطة.

وبغض النظر عما قدمه ارخميدس واستخدم بعض نماذجه الهندسية، فان ميكانيك هيرون يرجع بطرقه إلى الاتجاه الكينماتي في الستاتيك، وكثيراً ما يتقاطع مع المسائل الميكانيكية. وفي المسائل الـ ١٧ الموجودة في كتابه الثاني حول "المسائل الميكانيكية،" قد يكون محتملاً أن كلا المؤلفان استخدما نفس المرجع أو مجموعة مراجع تكلم عنها هيرون في حديثه عن " المسائل القديمة ". ولكن إذا كان الأسلوب الميكانيكي للمسائل مبني على أساس فلسفي، فان المناقشة والطرائق عند هيرون تقدم التطبيق العملي للميكانيك.

إن الطريقة الأساسية في دراسة التوازن عند هيرون، هي إزاحة نقاط موضع القوى في حالة تشويش هذا الموضع. ومن خلال جزء محدد من التجديد وبعد المعالجة يمكن الوصول إلى مبدأ الحركة الفيرتوالية. وقد وصل هيرون إلى ذلك فعلاً. ففي البداية وضع علاقته الأساسية وهي "القاعدة الذهبية للميكانيك": "ما تربحه في القوة تخسره في السرعة". وفي الحقيقة فان هيرون يقدم بعض العلاقات مثل " كلما كانت القوة المحركة اصغر بعلاقتها مع الثقل المتحرك كلما تطلبت وقتاً اكبر، بهذا الشكل فان القوة بالنسبة للقوة، والزمن بالنسبة للزمن تقع في نفس العلاقة العكسية ". إن مفهوم السرعة في زمن هيرون لم يكن موجوداً بعد. وينضم إلى مدرسة الاسكندر أيضاً المهندس المعماري فيتروفي الذي عاش في القرن الأول قبل الميلاد. ويعد كتابه العاشر "الهندسة المعمارية"دليلاً عملياً مختصراً عن التطبيق الميكانيكي، ويحتوي هذا الكتاب على شروح لمختلف الآليات (ميكانيكية) عن رفع الأثقال، وقواعد عملية لمواصفات الأبنية. وبالرجوع إلى مبدأ تأثير الآليات (ميكانيكية) فان فيتروفي يضع نظرية لعتلة متفقاً مع هيرون في كتاب "المسائل" ومحتفظاً بالاتجاه الكينماتي في الستاتيك. وتتطابق بعض مناقشاته في الفصل المكتوب عن العتلة مع الأسئلة "المسائل الميكانيكية تطابقاً تاماً، وكذلك مع الشروح ويمكن الافتراض أن أبحاث فيتروفي وعلى الأخص في بعض أجزائها

ترجع إلى المصادر القديمة التي لم تصل إلينا والتي استخدمها هيرون في وضع كتابه " المسائل ".

لم تصل إلينا من العصر الهلنستي المتأخر أية مقالة أصيلة في علم الستاتيك، وكذلك في الميكانيك بشكل عام. وقد نشأت في القرنين الرابع – الثالث الميلادي في الإمبراطورية الرومانية ظروف غير ملائمة بالنسبة لتطور العلوم، وخاصة في المجال النظري منها. فقد وقفت الكنيسة موقف العداء أمام العلوم "اللغوية" القديمة، نعم ونفسهم سيطروا (الرومان) على العالم. فلم يقيموا إلا معارف عملية ضيقة، ولم تشجع الأبحاث النظرية. وجميع المؤلفات المعروفة بالنسبة لهذا العصر حول الرياضيات والميكانيك كان لها مضمون تطبيقي. أما بالنسبة للمؤلفات الرياضية فيعد باب الاسكندراني واحد ممن كتبوا فصولاً حول الستاتيك ومن خلالها تعرض إلى الميكانيك (النظري والعملي).

يحتوي كتاب باب الاسكدراني على معلومات متنوعة مأخوذة من مصادر متنوعة، ومن بينها عدد كبير من المقتطفات المأخوذة من كتاب أرخميدس، وكذلك بعض نظريات الستاتيك الهندسي والمسائل عن تحديد مركز الثقل للأشكال المستوية. وينظر باب الاسكندراني إلى الستاتيك الهندسي كموضوع لأسئلة تقنية محددة.

كما يضمن أبحاثه مقاطع من "ميكانيك" هيرون حول شرح التصاميم الميكانيكية (الآلية) للأثقال (أحمال) المرفوعة، والموجودة بشكل خاص في أبحاث المؤلف، وخاصة في نظريات حجم الأجسام الدوارة المحسوبة ، الميكانيك والفلك م–٣ الموصوف بمركز الثقل للشكل المستوي الدوار.

ففي عصر ازدهار الإمبراطورية الرومانية، وعلى الأخص في عصر انحطاطها في مجال الستاتيك الهلنستي بدأ التقليد الحرفي يلعب دوره (على حساب جانبه النظري). وبشكل تدريجي تناقص الاهتمام في المجال الستاتيكي النظري، وقد عاد مضمون الأبحاث الميكانيكية إلى أشكال من النماذج معتمدة على القواعد الأولية بالنسبة للآلات البسيطة. وبعد تفكك الإمبراطورية الرومانية وحتى ظهور دولة بيزنطة ظهر هذا التدهور بشكل واضح أكثر من أي فترة، فلم تحفظ الآثار العلمية القديمة،

وفقد التقليد الارخميدسي بشكل فعلي وأصبح على شكل حرفي فقط. وكان يفهم تحت كلمة ميكانيك الفن الهندسي والبنائي فقط.

الديناميك:

إن العودة إلى الديناميك "اليوناني" تجعلنا نتسلح باتجاهين أساسيين للنظريات الميكانيكية المختلفة: الكينماتية والديناميكية. ومن أهم مؤيدي النظرية الكينماتية – الفلاسفة الذريون – الذين يعدون المادة والحركة أزليين، لم تخلقا ولن تتلاشيا، ونظروا إلى الحركة كخاصة من خواص المادة بالضرورة، وقادهم الإثبات الأساسي هذا إلى أن المادة تتصف بالسكون بحد ذاتها، وليس للحركة وجود فيها. ولا تبدأ المادة بالحركة إلا تحت تأثير خارجي لقوة ما ليس لها علاقة مع المادة.

وقد تبنى أرسطو طاليس هذه النظرية، كفلسفة عن الطبيعة التي تعد أساساً في دراسة الحركة، التي أبدت فعالية كبيرة على تطور علم الميكانيك. وقد تمت دراسة مشكلة حقيقية الحركة بشكل عام والحركة الميكانيكية بشكل خاص في بعض أبحاث أرسطو طاليس " الفيزياء "، و " عن السماء "، و" عن الكون والفساد" و" عن النيازك " وتعرض لها بشكل عرضي في كتاب " الفيزياء الرياضية ".

لقد فهم أرسطو طاليس تحت مصطلح الحركة التغير من الناحية النوعية، ومن الناحية الكمية بشكل عام، حيث فرق بين هذين النوعين من التغير.وتحت تعبير تغير المكان، أي الانتقال في الفراغ (الحيز) فهم أرسطو طاليس ما نطلق عليه الآن اسم الحركة الميكانيكية. كما أن أرسطو طاليس عرف الحركة على أنها الانتقال من حالة إلى حالة أخرى، كالانتقال من " الوجود المتحقق إلى الوجود الممكن " ومن الصحة إلى المرض والعكس. وتمتاز فلسفة أرسطو طاليس بشكل عام بالتحول (من شيء ما إلى شيء آخر) حيث حدد بدقة بداية ونهاية التحول أو الحركة. ويفهم من ذلك حسب مصطلحات العصر الحالي اتجاه الحركة، أما عند علماء اليونان فمفهوم الحركة هو نقطة البداية ونقطة النهاية. وهذا لا ينضوي تحت المفاهيم الفلسفية فحسب وإنما تعداه إلى علوم أخرى، ففي الهندسة مثلاً سماها اليونان بخط مستقيم

ما، ويحدد في الوقت الحاضر كقطاع. أما بالنسبة للحركة الدائرة فقد حددها أرسطو طاليس كحركة " من مكان ما والى نفس المكان ".

أما الفراغ (الحيز) حسب رأي أرسطو طاليس فيعتبر حقيقة فيزيائية لها أبعاد مستمرة. وخواص ووجود هذا الحيز له علاقة مع المادة، وينظر إليه على شكل مجموعة من الأماكن . والمكان هو شكل متميز من أشكال المادة لا ينفصل عنها ويشكل حدودها في الوسط المادي. ووجود المكان مشروط بوجود الفراغ (الحيز) المشغول (هذا البرهان في صالح عدم إمكانية الخلاء التام الذي يرفض وجوده أرسطوطاليس)، وبالتالي يقدم أرسطو طاليس تصوراً عن القوى المحركة والمتحركة. وان الأجسام المحرضة تحتوي على منبع الحركة ذاتياً، أما بالنسبة للمواد غير المحرضة فان منبع الحركة يقع خارج نطاقها، ومن بينها الحركة الذاتية الناشئة من تأثير احد المنابع الخارجية.

يميز أرسطو طاليس بين شكلين من أشكال الحركة: " الحركات الطبيعية " و" الحركات القسرية ". تتم الحركات الطبيعية بمعزل عن أي مؤثر خارجي، بينما تنشأ الحركات القسرية " بتأثير مؤثر ما. ففي السماء كل شيء أزلي ودون أي تغير، وغير محدود وتام وحركته طبيعية. وهذه الحركة متماثلة ودائرية الشكل. أما الحركة الطبيعية ضمن الظروف الأرضية " كما تسمى بالحركة المكانية " فان جميع الحركات العرضية يجب أن يكون لها بداية ونهاية، أي تكون حركة مستقيمة. وكل جسم يسعى في حركته الطبيعية إلى مكانه الطبيعي. أما بالنسبة للأجسام الثقيلة والمقصود هنا الكرة الأرضية والأجسام الخفيفة وهي الهواء والنار، أي ما يحيط بالأرض من كرة نارية، فإذا انتقل الجسم من " مكانه الطبيعي " فانه يسعى لشغل مكاناً مجاوراً صانعاً حركة مستقيمة. أما بالنسبة للأجرام السماوية فتمتاز بالسعي لصنع حركة دائرية تامة.

إن منبع الحركة " الطبيعية " (السعي) هو الجسم المتحرك ذاته. أما بالنسبة للحركات القسرية فمنبع الحركة هو مصدر خارجي متمثل بقوة ما – ديناميك $(d\bar{u}nambs)$. وتتعلق هذه القوة " بفعالية " منبع الحركة، أي بقيمة القوة العضلية

التي يتلقاها الجسم، والتي يحتفظ بها بشكل مستمر. فإذا فصلت القوة عن المنبع (إذا قذف الجسم مثلاً) عندها يتم نقل الحركة عبر وسط فاصل، وبالتالي يتوقف الجسم المتحرك عن الحركة، ولكن يحتفظ بخاصة الحركة ضمن الظروف المحيطة التي تؤثر فيها الثقالة والوسط (الماء والهواء) " ويمتاز الجسم أحياناً بطبيعته للحركة والتحريك " ولكن ليس الجسم الصلب، أي الأرض التي تسود فيها الثقالة فقط، ولا النار التي تسود فيها خفة الوزن فقط.

بهذا الشكل فان حركة أي جسم مشروطة بحركة جسم آخر حيث يؤثران على بعضهما البعض. أما حركة الجسم الثاني فيؤثر فيها جسم ثالث وهكذا.

ولكن هذه العملية ليست نهائية: لان قوة الدفع الأولى لأية حركة تنتج عن "مولد أولي غير متحرك " وهذا المولد يولد حركات بسيطة متماثلة ومستمرة ولا نهائية، وتعد الحركة الدائرية المتجانسة للكرات السماوية مثالاً على ذلك، فهي أبدية ومتميزة و"متكاملة" أما في ظروف الكرة الأرضية فتحدث الحركة "المكانية" تحت تأثير مسبباتها (القوى والوسط)وفي هذه الحالة حسب رأي أرسطو طاليس تعتبر القوة هي البداية الفعالة للحركة. فلو لم تكن موجودة هذه القوة لتحول الجسم فوراً إلى وضعية السكون. وينظر أرسطو طاليس إلى الحركة المعاكسة على أنها من الجسم ذاته، وكذلك من الوسط الذي تتحرك فيه.

وهنا لا بد من التنويه إلى أن كافة المؤلفين القدماء عبروا عن ذلك بمساعدة التناسب معتمدين على العلاقات ذات القيم المتجانسة (لها نفس القيم) كالمسافات والفترات الزمنية وغيرها. وقد قورنت السرعات بعلاقاتها مع المسافة المقطوعة خلال فواصل زمنية متساوية، او خلال مراحل زمنية ضرورية لفصل إحدى هذه المسافات عن الأخرى.

وتكون الحركة ممكنة إذا تفوقت القوة المؤثرة على الجسم (F) على القوة المضادة (P). وفي هذه الحالة يمكن تقسيم P إلى عدد كبير من الأجزاء الاختيارية، أما F فتضاعف إلى عدد اختياري، ولكن لا يمكن إجراء هذه العملية بشكل لا محدود، وبمقدار ما تكون في هذه الحالة $P < F$ فان الحركة لا تتم.

وفي حالتنا هذه إذا كانت القوة F = صفر في حال P # الصفر يكون واضحاً أن السرعة:

$$V = S / T = 0$$

وا إذا تناقصت المقاومة حتى الصفر، فان علاقة السرعات تتصاعد بصورة لا نهائية، ولكن هذا حسب أرسطو طاليس ممكن فقط في حالة الخلاء (الفراغ التام) " لان الخلاء لا يتوافق في أية علاقة مع الوسط المشغول " لذلك ففي مثل هذه الحالة لا يمكن أن تكون هناك أية علاقة بين السرعات. " إن الجسم المتحرك في الخلاء (الفراغ التام) يتفوق على كل تناسب " كما يقول أرسطو طاليس.

من هنا نجد أن الحركة غير ممكنة في الخلاء، وبالتالي فلا وجود للخلاء نفسه.

ويقول أرسطو طاليس: يوجد برهان آخر يؤيد نفي المكان الخالي بالعودة إلى دراسة سقوط الأجسام وحركة المواد المقذوفة، أصبح هذا فيما بعد إحدى المشاكل الأساسية في ميكانيك العصور الوسطى في أوربا، وكان السعي لحلها على أساس تفسير ما كتبه أرسطو طاليس). وينظر أرسطو طاليس إلى عملية سقوط الأجسام كشكل من أشكال الحركة " الطبيعية " المتعلقة بسعي الجسم الثقيل إلى مكانه الطبيعي "والأماكن الطبيعية" هي أوساط أربعة "الأرض، الماء، الهواء، و النار "موجودة في الكون وهي متحدة المركز، فإذا تحرك الوسط الموجود في الأعلى إلى الأسفل أو بالعكس فانه يسعى إلى مكانه الطبيعي، ويكتسب ثقلاً أو خفة جديدة.

لذلك فان لأحد الأجسام (شجرة مثلاً) يسقط في الهواء أو يسبح في الماء، وتتحدد سرعة السقوط بخواص الوسط من جهة وبخصائص الجسم من جهة أخرى. فإذا كان لدينا جسمين لهما حجمين متساويين وشكل واحد واسقطا من ارتفاع معين في الجو، فالجسم الأثقل هو الأسرع. أما في الخلاء (الفراغ التام) فان كافة الأجسام يكون لها نفس السرعة، ولكن هذا غير موجود. ولهذا لم ينظر إلى عملية سقوط الأجسام في الخلاء لا من قبل أرسطو طاليس ولا من قبل المعلقين على كتاباته.

يعد رمي جسم ما بميلان تحت زاوية معينة مع الأفق شكل من أشكال الحركة القسرية، التي يتحرك الجسم خلالها في اللحظة الابتدائية للرمي تحت تأثير قوة المنبع الخارجي المولد للحركة والذي يكون باتجاه مغاير لاتجاه الحركة الطبيعية. بهذا الشكل يكون الجسم تحت تأثير قوة ما وتستمر حركته منذ هذه اللحظة وحتى ينفصل عن منبع القوة، كما هو الحال عند رمي السهام من القوس مثلاً.

فحسب أرسطو طاليس هناك جوابان: إما أن يتم ذلك بطريقة الانتبريستاسيس[١]، وإما بفضل نقل الحركة عبر وسط فاصل: كالماء أو الهواء. وتمسك أرسطو طاليس نفسه بوجهة النظر الثانية. وحسب أرسطو طاليس في حالة رمي جسم ما تحدث حركة نقل تالية عبر وسط فاصل. وللجسم المرمي كما يبين الوسط (الهواء أو الماء) خاصية التحرك. فعندما يتوقف الجسم المتحرك عن الحركة، ويتوقف الجسم المحرك عن التحريك، فانه يحتفظ بخاصية الحركة مع أجزاء الوسط الملامس له. وسوف يستمر هذا الوضع ما دامت خاصية التحريك لم تتناقص إلى درجة كبيرة حيث لم تزل للجزء المتتابع للوسط خاصية إعطاء الحركة للجزء المجاور له. ولكن هذا الجزء المجاور لا يستطيع إكساب الحركة إلى الجزء التالي. مثل هذه العملية من نقل الحركة حسب رأي أرسطو طاليس ممكنة في الأجسام التي تمتاز بخاصية الحركة والتحريك في أن واحد فقط كالهواء والماء، وهذه الخاصية ليست من خواص الأجسام الصلبة، لان الهواء والماء يعتبران أجساماً مشتركة، أي يمتازان بالثقالة والخفة، ولهذا فلهما خاصية نقل الحركة في مختلف الاتجاهات. فهذه الأجسام الخفيفة (الماء والهواء) تمتاز بتحريك الأجسام إلى الأعلى، وكذلك لها القدرة على تحريكها إلى الأسفل كأجسام

---

(١) الانتيبريستاسيس – نوع من الحركة الدوامية (الإعصارية) مشروحة في الافلاطونية (تيمية) ومشروطة بعدم وجود خلاء في الطبيعة. فعندما يتحرك الجسم ينتقل ليحل مكان جسم آخر، ويطرد الجسم الثاني بدوره جسم ثالث وهكذا، ما دامت الدائرة لم تغلق، أي أن الجسم الأخير لا يصبح مكان الجسم الأول.

ثقيلة. وقد ذكرت هذه النظرية التقليدية من قبل المعلقين القدماء على كتابات الارسطو طاليس.

علـم الفلـك

الحركة الكينماتية للأجرام السماوية:

ذكرنا في المقدمة أن علم الفلك هو فرع مستقل، وكذلك يشكل الميكانيك فرعاً مستقلاً آخر – (إذا أخذنا بعين الاعتبار الكينماتيك) ولم ينفصلا عن بعضهما في العلوم اليونانية، رغم أن الكينطتيك السماوية كانت تشكل شكلاً أساسياً في إظهار التصورات عن بناء الكون في العالم القديم.

ويرتبط تطور علم الفلك بالدرجة الأولى بالاستفسارات المباشرة للتطبيق العام (الحسابات التقويمية) حيث دخلت بتماس مع التقنية (تركيب الأجهزة)، وبالدرجة الثانية فقد كان للفكر النظري الدور الأساسي في تطوره، مثل الوعي الفلسفي العام عن بنية الكون، وكذلك العمل بالطرائق الرياضية البحتة في شرح وتفسير حركة الأجرام السماوية، التي تطورت بشكل خاص في العصر الهلنستي. ولهذا يتطلب الحديث عن الكينماتيك القديم الأخذ بعين الاعتبار العمل بطرائق النماذج (الموديلات) الكينماتية الهندسية للأجرام السماوية. ولتطور هذه الطرائق علاقة وثيقة مع تطور الهندسة الكروية وعلم المثلثات. وفي الوقت نفسه يجب الأخذ بعين الاعتبار أن نماذج (موديلات) حركة الأجرام السماوية رغم كونها نموذجاً، ولكنها لم تكن ذات اتجاه وحيد في الكينماتيك القديم، إذ استخدمت في العلوم اليونانية طرائق كينماتية أخرى. وكان لها أساليبها الخاصة المبنية على أساس أبراز مفهوم الحركة في الهندسة، التي حلت بمساعدته مسائل رياضية عدة لها علاقة مع إنشاء المنحنيات والبحث فيها.

من المعروف أن الرياضي أرهيت تارنتسكي صمم في القرن الرابع قبل الميلاد أجهزة لرسم المنحنيات. واخترع جهازاً خاصاً لإيجاد المتوسط التناسبي بين قطاعين. وترجع إليه إحدى المسائل التي لم تحل في الرياضيات القديمة، وهي مسالة مضاعفة المكعب. وفي القرن الخامس قبل الميلاد بنى كيبي اليدسكي بطريقة جمع الحركات المنتظمة للحركات التقدمية (المستقيمة) والدائرية للقوس والتي أطلق عليها فيما بعد ليبنيتس الرسوم التربيعية.

وفي اغلب الأحيان تعرض ارخميدس إلى الاستخدام الكينماتي في الهندسة. وكان يستخدم المفهوم الكينماتي بشكل خاص في اللوالب (الحلزنة الارخميدسية) فإذا دارت نقطة ما عكس عقارب الساعة حول نقطة أخرى عندها تدور معها بسرعة متساوية وبنفس الاتجاه نقطة ثالثة، وهنا ترسم النقطة الأخيرة خطاً حلزونياً.

من هنا نلاحظ أن أرخميدس ينظر إلى الحركة الحلزونية كنتيجة لمجموع الحركتين: حركة الخط المستقيم المتساوي على امتداد خطي، والحركة المتساوية على الدائرة. ولم يكن استخدام الطرائق الميكانيكية في الهندسة من قبل أرخميدس حالة طارئة. وكذلك فقد كنا نوهنا إلى أن "الايفود" استخدم من قبل أرخميدس بالأسلوب الستاتيكي الهندسي، وذلك لأهداف هندسية بحتة. ومن المعروف أن أرخميدس وضع نموذجاً (موديلاً) للكرة السماوية حدد فيه بشكل الي حركة النجوم المرئية.

وهنا يجب التنويه إلى أن جميع الطرائق الميكانيكية والأجهزة الميكانيكية في الهندسة واجهت اعتراضاً شديداً من قبل مؤيدي الاتجاه النظري، وخاصة من قبل الفلاسفة المثاليين وفي مقدمتهم بلوتارة، كما لام بطليموس العلماء متهمهم بأنهم "خربوا عملية الوصول إلى الهندسة"، لأنهم استخدموا الأدوات الميكانيكية في حل واثبات المسائل الرياضية المعقدة.

ذكرنا أن الستاتيك (التوازن) في الشرق القديم لم يكن له وجود. وكل ما هو معروف لدينا عن الآلات البسيطة يرجع إلى الحرف التقليدية في التقنية. أما إذا انتقلنا إلى الكينماتيك الفلكي، فقد بينت المصادر التي تم الرجوع إليها أن نتائج مراقبات الرصد الفلكي في بابل القديمة خضعت للأعمال النظرية. ففي القرنين السابع – الثامن قبل الميلاد كتبت نصوص عن حادثتي الكسوف والخسوف. وحوالي عام ٦٠٠ قبل الميلاد تم وضع جدول لمصطلحات البروج وأسماء الكواكب، وصلت إلينا عن طريق اليونان والرومان، ولكن يبقى أصلها بابلي. وفي تلك الفترة كانت هناك أربع مدن بابلية على أقل تقدير تتم فيها

عمليات الرصد الفلكي. وكانت أهم مسألة في علم الفلك البابلي هي تحديد الظواهر الفلكية الدورية، وكان ذلك ضرورياً من اجل استخدام التقويم القمري – الشمسي الذي كان مستخدماً في بابل.

وعلى أساس هذه الدرجة العالية من التطور النظري لنتائج المراقبات عند علماء الفلك البابليين يمكن الحكم على العصور البابلية المتأخرة من خلال النصوص الفلكية المسمارية لعصر السلوقيين (القرن الثالث – الأول قبل الميلاد)، وهي جداول عن أوضاع الشمس والقمر والكواكب. وتحتوي هذه الجداول على الحركات الدورية الثابتة لهذه الأجرام. والقسم الأساسي من هذه الجداول موجود الآن في لندن (في المتحف البريطاني). وتم العثور على الجزء الأكبر منها أثناء حفريات التنقيب في بابل، أما بقية الأجزاء فقد جمعت من محفوظات (أرشيف) مدينة اوروك. ويرجع أقدم النصوص المكتشفة إلى عام ٧٥ ق.م. ومن خلال دراسة هذه النصوص أمكن تقسيمها إلى مجموعتين أساسيتين: المجموعة الأولى وتضم جداول عن أوضاع القمر والكواكب والمجموعة الثانية هي نصوص لشرح وتفسير هذه الجداول. فمن حوالي ٣٠٠ نص تم العثور عليها يوجد حوالي ٧٠ نص تفسيري والباقي جداول عن أوضاع الكواكب.

لم تصل دقة الأجهزة التي استخدمت في الفلك البابلي إلى عدة ثوان، أما المعلومات الموجودة في الجداول فقد وصلت دقتها إلى ثلاث ثوان. ويمكن التأكيد أن نتائج المراقبة اختصرت ضمن عمل محدد، أي رتبت بشكل يكون لها علاقة تابعية. وقد ساعد المستوى المتطور للطرائق الحسابية في الرياضيات البابلية من وضع الطرائق الموضوعية للتوابع الفلكية في الجداول بحيث يكون لها خاصية حسابية. وقد تأكد هذا الفرض في عملية وضع الجداول التي يمكن تقسيمها إلى مجموعتين. فقانون وضع جداول المجموعة الأولى (المنظومة A) يظهر على شكل تابع متدرج، أما المجموعة الثانية (المنظومة B) فتظهر على شكل تابع خطي منكسر (زيكزاك).

وقد بينت دراسة المجموعتين انه استخدم عند وضع المنظومة B المتوالية الحسابية المتزايدة والمتناقصة بين الحدود المثبتة، على سبيل المثال في جدول أوضاع القمر بالنسبة لـ ١٧٩ عام من عصر السلوقيين (١٣٣/١٣٢ سنة ق.م). فالرقم الذي اختيرت فيه كان بحيث يمكن للمنحنيات أن تجعل هذا الرقم على شكل خط منكسر للإحداثيات العمودية بالنسبة للنقط التي توجد على مسافات متساوية بالنسبة لبعضها البعض، أما فرق الإحداثيات العمودية للنقط التالية الواحدة بالنسبة للاخرة فهي حسب المتوالية التالية:

١٨+¯ = d. وهنا يتقاطع القطاع المنكسر في النقاط العظمى M والنقاط الصغرى m للتابع الدوري مع المدى m-m = Δ ومع القيمة المتوسطة (m+m) والدور u =١/٢ d/ Δ p=٢ .

وبشكل عام تحتوي أولى أوضاع القمر الموضوعة على أساس قانون التابع الخطي المنكسر (زيكزاك) على عمودين: قيمة التابع (السرعة عادة) (t) V خط طول دائرة فلك البروج (t) l التي تكون على شكل تعاقب لقيمة التابع الأول وتحتوي على فرق القيم واحدة بعد الصفر، أما نهايتها فتتوافق مع الصفر للتابع الأول، وبهذا الشكل يكون التابع الأول مماثل للتابع الثاني.

ومثال عن التوابع الموضوعة على أساس قانون التابع المدرج يمكن أن نذكر جدول القيم المتتابعة لسرعة دوران الشمس على مدارها. وتبقى الشمس ثابتة على جزء من قوس دائرة فلك البروج. ويتغير هذا الثابت على شكل قفزات نوعية تنتقل إلى قيم ثابتة أخرى على القوس التالي.

وفيما استخدم فلكيو اليونان (القدماء والمعاصرين) التابع المثلثي في شرح هذه الحركة وتفسيرها. وكان ينظر في العادة إلى السينوس (ظل الزاوية) والى التابع المنكسر في بابل كتقريب إلى السينوس (الظل) الذي يشرح هذه الحركة. وعلى هذا القدر من التفكير العلمي فقد كان ينظر إلى التصور عن المقولات الكينماتية من وجهة نظر نظرية محضة.

وبالعودة إلى تاريخ الطرائق القديمة للنماذج (موديلات) الكينماتية لحركات الأجرام السماوية نجد أن التنبؤ عن وقوع الظواهر الفلكية المختلفة وحسابها كان بواسطة الطرائق الحسابية، وان علم الفلك البابلي لم يضع سؤالاً عن الوجود الميكانيكي للظاهرة نفسها. وكذلك لم ينظروا إلى عملية الحركة المستمرة للأجرام السماوية بشكل عام، وا إنما لم يهتم بعلم الفلك إلا علماء الرياضيات (بدقة الحساب)، وليس بدقة ميكانيك هذه الحركات. أما السؤال عن الآلية التي بمساعدتها يمكن ان يكونوا قد تصوروا الحركة المستمرة للأجرام السماوية في ذلك الوقت،والتي تصوروها كنقطة رياضية، كانت قد وضعت من قبل الفلكيين اليونان.

تحدثنا الفلسفة اليونانية (أفلاطون وأرسطو طاليس) إن علماء اليونان اعتبروا جميع الأجسام والأجرام في الكون (الفوق قمرية) هي أجسام تامة وعاتية عن التغير وأزلية (عكس الأجسام الأرضية التحت قمرية)، ويجب أن تكون حركتها تامة وأزلية، أي حركة متساوية ودائرية، وحسب رأي بطليموس يمكن أن تكون مزيجاً من الحركات الدائرية والمتساوية فقط.

إن أول موديل (نموذج) من هذا النوع هو نظرية دوران الأجرام السماوية المتحدة المركز، وترجع هذه النظرية إلى الفلكي والرياضي اليوناني المعروف يفدوكس كنيدسكي (القرن الرابع ق.م) ولكن نصوص يفدوكس نفسها لم تحفظ، وا إنما عرفت من خلال شرح نموذجه في ميتافيزيق أرسطو طاليس، وكذلك في كتابات فلكي الإسكندرية سوزيكون التي وصلت إلينا من خلال ما كتبه المعلقون في القرن السادس الميلادي، وبمساعدة نموذج يفدوكس كان من الممكن والى درجة محددة شرح حركة الكواكب العليا (المشتري، زحل) والنقص الأساسي في نموذج يفدوكس وتعديلاته هو بعد الكواكب عن الأرض، أي مقاييسها المنظورة التي تفترض على أنها ثابتة وغير متغيرة. ولهذا فان نموذج يفدوكس غير مقبول في شر ح حركة الكواكب المنخفضة (المريخ، الزهرة) بسبب الخلاف الواضح حول وضوح هذه الكواكب.

وهناك نموذج آخر أكثر اكتمالاً من نموذج يفدوكس وهو نموذج الكينماتيك الهندسية لحركة الأجرام السماوية الذي وضعه ابو لوني (القرن الثالث – الثاني ق.م)،وطوره فيما بعد كيباره (القر ن الثاني ق.م) وبطليموس (القرن الثاني – الأول ق.م). وقد اكتشف الفلكيون منذ زمن طويل من خلال مراقبتهم لحركة النجوم في الكرة السماوية، أن حركات هذه النجوم غير متساوية، ويجب أن يكون عدم التساوي الظاهري هذا متفقاً مع المبدأ الأساسي للفلسفة الطبيعية القديمة: ففي العالم فوق القمري تكون الحركات الدائرية المتساوية ممكنة فقط. وهكذا وجد ابو لوني طريقة لتفسير الحركة الظاهرية المتساوية للأجرام السماوية، وهذه الطريقة ليست متناقضة مع هذا المبدأ. وقد افترض ابولوني أن النجوم تتم حركة دائرية، ولكن دورتها ليست حول المركز الظاهري الذي تمثله الأرض (إذا أخذناها كنقطة مادية) حيث يقف المراقب، ولكن حول نقطة تنحرف عنها. لذلك فإذا روقبت هذه الحركة من الأرض ستظهر بشكل أسرع في ذلك المكان حيث أن الفاصل لمدار هذه الحركة المتساوية (الدائرة الشاذة) سوف يقترب من المراقب، وسوف يقترب تدريجياً من الجهة المقابلة للدائرة المركزية.

تستند هذه النظرية على أساس النموذج المركزي لحركة الشمس، التي ترجع الى كيباره. وحسب رأي كيباره فان عدم تساوي حركة الشمس M (على دائرة فلك البروج) مع المركز في النقطة ٠ يفسر بان الشمس تتحرك بصورة متساوية على مدار شاذ بالنسبة للمركز ٠١، وتراقب من النقطة ٠ (شكل ١).



شكل – ١ – موديل المدار الشاذ والدورة الداخلية لحركة الشمس

إن "الحركة الحقيقية" أي خط الطول الحقيقي للشمس l ، الذي يكون اعتباراً من نقطة الأوج A، وتتجمع من متوسط (المتساوية) حركتها حسب الشذوذ عن الدائرة (خط الطول المتوسط) وبعض التصحيحات (عدم التساوي Θ ، والتي سميت في الجداول الإسلامية، وفيما بعد في الترجمات اللاتينية بـ "معادلة المركز".

$$l = l \pm \Theta(t)$$

ومن اجل شرح عدم التساوي في حركة القمر وضع نموذج الشذوذ المتساوي، ومن خلال هذا النموذج نجد أن النجم M يتحرك بصورة متساوية على الدائرة الصغرى، الدورة بالنسبة للمركز C الذي يتحرك بدوره بشكل متساو، حيث الدائرة العظمى حول المركز ٠. وفي هذه الحالة تتوافق الدائرة العظمى مع الحركة الظاهرية لمدار القمر. يتحرك مر كز الشذوذ والقمر حول مركز الشذوذ باتجاهين متعاكسين. وتتراكم الحركة الناتجة المتولدة عن هاتين الدورتين: الدورة القمرية حسب مدارها الأصغر، والدورة حسب المدار الأكبر. وينتج عدم التساوي في حركة القمر من أوضاعه المختلفة على مداره الأصغر أثناء حركته على مداره الأكبر.

نعود الآن إلى الاختصاص الكينماتي لهذه النماذج (الموديلات) فنجد أن هناك دورتين k الدورة الأولى حركة منقولة للقطاع CM مع OC كما لو انه كان مكون من مادة صلبة ومثبت إلى OC في النقطة C، والدورة الثانية هي دورة نسبية للقطاع CM حول CO كالمفصلة. وفي هذه الحلة فان النجم الموجود في رأس الشكل الرباعي OCMO1 يمكن أن يدور حول ٠٠١ مع محافظته على حالة التوازن. وتكون الحركة المطلقة للقطاع CM دائرية وبشكل ترسم جميع نقاطه سلسلة

لدوائر متشابهة، يقع مركزها على الخط ٠٠١، أما الحلقة CM فتبقى موازية للمدار الشاذ المطلق ٠٠١ بشكل دائم ، حيث يحافظ على اتجاه ثابت[١]وا إذا طبقت الآن على هذه الحركة للأجرام السماوية نظرية الكينمات عن الحركة المزدوجة، ففي حالة الشروط المتساوية والمتعاكسة للدوران، يكون نظام الدورة الصغرى والدورة الكبرى معادلاً للشذوذ الثابت.

لكلا المخططين أهمية عظيمة على تطور الكينماتيك: إذ دخل في الميكانيك مفهوم عدم تساوي الحركة، والذي يمكن بمساعدته أن يتشكل تصور في كلا النموذجين على شكل مزيج للمخططين أو لعدة مخططات متعادلة. وقد وصلتنا نظرية كيباره من خلال ما كتبه بطليموس فقط، في كتابه المجسطي[٢]. وهو المؤلف الأساسي عن الفلك في العصور القديمة.

ومن الجدير بالذكر أن نظرية حركة القمر والكواكب تعود إلى بطليموس نفسه. ولكن إذا كان من الممكن تفسير حركة الشمس بشكل مقبول بواسطة إحدى هذه النماذج (الموديلات) البسيطة، فهذا أصبح أكثرا تعقيداً بالنسبة للقمر. بمساعدة هذه النماذج (الموديلات) كان من الممكن تفسير عدم تساوي حركة القمر فقط، وا إذا حسب قطره الظاهري بالنسبة لمداره الأصغر غير المتغير، ففي نفس الوقت كما بينت نتائج المراقبة يجب الافتراض أن قيمته تتغير أيضاً. ولوضع هذا التناقض وتفسير عدم التساوي الثاني للقمر (افكتس) افترض بطليموس نموذجاً معقداً (نموذج الشذوذ المتحرك " في تشابكه مع الدورة المعقدة).

يفترض بطليموس أن خط الابسيد AO1OP لا يبقى ثابتاً، بل متحرك. وفي هذه الحالة فان الدورة الكبرى تكمل الحركة حسب الدائرة الصغرى، وبسب ذلك وبسبب مركز الدورة الكبرى نفسها فان خط الابسيد يغير وضعه بشكل مستمر، متمماً

---

(١) ولهذا فان النموذج للشذوذ البسيط اخذ اسم الشذوذ الثابت.

(٢) المجسطي – تحريف اوربي في العصر الوسيط للكلمة العربية المجسطي، وهو بدوره تعريف لأحد التسميات لأعمال بطليموس. Megiste Syntaxis " النظام العظيم ".

دورة كاملة خلال شهر. لذلك يظهر مركز الدورة في جميع الأوقات على مسافات مختلفة بالنسبة لمركز الدورة الكبرى (ويفسر ذلك بتغير القطر الظاهري للدورة الصغرى). بالإضافة إلى ذلك فان وضع مستوى الدورة الكبرى يتغير بشكل دائم في الفراغ (الحيز). و على أساس هذا النموذج الجديد فقد درست عدم مساواة حركة القمر كتابع بدليلين: "تعادل المركز" والتصحيح على حساب تغير مسافة مركز الدورة الصغرى عن مركز الدورة الكبرى، ولكن هذا النموذج احتوى منذ البداية على بعض التناقض، والمسافة المركزية الأرضية الحقيقية حتى القمر في اللحظات المختلفة للمراقبة تختلف بشكل فعلي عما يتطلبه نموذج بطليموس.

تنطلق نظرية بطليموس عن حركة الكواكب من فرضيات الشذوذ والدورة الصغرى، وهي مبنية على أساس المراقبة الخاصة. وحتى لا تبدو لهم هذه النظرية متناقضة، كان على بطليموس أن يضع عدة فرضيات وتراكيب مكملة. واستناداً إلى هذا النموذج، حيث أن مركز الدورة الصغرى للكوكب يتحرك بصورة متساوية، ولكن ليس حول مركز الدورة الكبرىوا إنما حول نقطة ممتدة على خط الابسيد، تقع في مكان متوسط بين نقطة المراقبة ومركز الشذوذ، والتي سميت فيما بعد بالاكفانت(١). وقد عرفت هذه النظرية باسم نظرية البيسكتيا أو نظرية التقسيمات المتساوية للشذوذ ١...

من هنا نلاحظ أن المخطط الكينماتي ينتج عن وجود ثلاث مدارات: المدار الشاذ وله علاقة مع حركة الكوكب ذاته، والاكفانت وهو دائرة الحركة المتساوية، ودائرة فلك البروج وهي الدائرة الكبرى التي يحسب على أساسها خط طول الكوكب. ولا تظهر حركة الكوكب حسب الشذون الآن غير متساوية بالنسبة للمراقب الواقف في 0كما هو الحال في النموذج الشاذ البسيط ، وا إنما هي في الحقيقة غير متساوية بمقدار ما يكون دوران السرعة الزاوية ليس منطبقاً على قطر الشذوذ O1Mوا إنما

---

(١) أطلقوا هذا المصطلح ليس على النقطة فحسب، وكذلك على دائرة تمثل النقطة مركزاً لهذه الدائرة.

حسب حركة مستقيمة توحد بين مركز الدورة الصغرى والاكفانت. في هذه الحالة يصبح خط الطول الحقيقي للكوكب l كمحصلة بين حركتين: حركة خط الطول المتوسط l وحركة الشذوذ g . وفي جدول عدم التساوي للكواكب عند بطليموس تدخل "علاقة المركز" بتوافق مع نموذج الشذوذ المتوسط. وتصحيحه بالنسبة للانتقال الى نموذجه الكوكبي.

من الواضح أن هناك اختلاف في تفسير حركة الكواكب بين المدخل البابلي لدراسة الأجرام السماوية ونظرية بطليموس. فالطريقة البابلية تحتوي على تحديد ظواهر معينة ذات علاقة مع حركة الكواكب، على سبيل المثال ظهور الكواكب على شكل نجم الصباح أو نجم المساء.. وبعد تحديد خط طول الكوكب لكل ظاهرة من هذه الظواهر، أي خلال فاصل زمني محدد، تم إيجاد خطوط طولها بالنسبة للحظة زمنية اختيارية t.

ويفترض في نظرية بطليموس نموذج كينماتي محدد، وبمساعدة هذا النموذج يمكن لخط الطول المركزي للكوكب أن يعد مباشرة بالنسبة للفترة الزمنية المختارة t. إن تحديد القيمة t ، التي تحدد موقع الكوكب في إحدى الحالتين المنوه عنهما انفاً، تعد بالنسبة لبطليموس مسألة ثانية.

يعد مثل هذا الاختلاف في المدخل عند دراسة هذه الظاهرة أو تلك نتيجة طبيعية للتطور التاريخي: فقد وضع بطليموس في عصره نظريته عن الكواكب، كما ظهرت الهندسة الكروية وعلم المثلثات أيضاً، وبمساعدة النماذج (الموديلات) البسيطة كان من الممكن التفسير النوعي لخصائص المدارات الظاهرية للكواكب. وكانت المرحلة التالية هي وضع الهندسة الكينماتية لحركة الكو الميكانيك والفلك م–٥ التالية هي وضع الهندسة الكينماتية لحركة الكواكب كنتيجة نهائية (ويعد هذا من مآثر بطليموس).

وما إن ظهرت هذه النظرية حتى فقدت دراسة الخواص المذكورة للظواهر معناها، وخاصة عندما أصبح واضحاً أن مر اقبة هذه الظواهر ليس هو الحل الأمثل بالنسبة للمعطيات التجريبية. إن الخاصة المميزة لنموذج (موديل) بطليموس هو أن

الباحث المعاصر يتصوره بسهولة على شكل تعديل لنظرية مركزية الشمس، ومن أجل التبسيط فقط، فقد افترض أن جميع الكواكب تتحرك وفق مدار دائري ولها مركز عام هو الشمس، وتقع جميع مدارات الكواكب على مستو واحد. وبهذا الشكل يقود السؤال إلى ما هو ملائم بالنسبة للعمليات الرياضية التالية: حساب خط الطول المبدئي للكواكب، وفيما بعد القيام بهذه العملية على الدورة الصغرى، تاركين " الهيكل العددي " في النظرية القديمة.

تحتل نظرية بطليموس مكاناً مميزاً في تاريخ علم الميكانيك، ومن الصعب حصر أهمية هذه المكانة، فاستخدام علم المثلثات بديلاً للاستخدام الحسابي مكن من دخول الطرائق الكينماتية على التوابع المستمرة. وتأتي الأهمية العظيمة لنظام بطليموس، وخاصة بالنسبة للجانب المتعلق بحركة الكواكب، حيث كانت الثغرة الأولى في جسد النظرية الارسطو طاليسية، التي تفترض الحركات الدائرية للأجرام السماوية بالضرورة. ويفترض في نظرية البيسكتسيا أن هذه الحركة للأجرام غير منتظمة. وفيما بعد أصبح التحول عن عدم الانتظام احد الدعائم الأساسية التي وضعت على أساسها نظرية كيبلر.

وتأتي الأهمية العلمية لنظرية بطليموس من طريقته في البحث عن حركة الأجرام السماوية. ففي البداية اختير نموذج: الشذوذ، والدورة الصغرى (دورة واحدة أو أكثر) والاكفانت، وفيما بعد تحددت من خلال المراقبة البارومترات (القيم) الهندسية للمدار، وعلى أساسها تم تحديد موقع الجرم في اللحظة الزمنية المطلوبة، ثم قورنت هذه النتائج مع نتائج المراقبة.

لقد كان ازدهار مثل هذه النظريات مرتبطاً بمستوى التطور العلمي للرياضيات في الإسكندرية، وبخاصة تطور الهندسة الكروية وعلم المثلثات التي ساعدت في اكتشاف طرائق جديدة في حل المسائل المطروحة في مجال علم الفلك الكروي. فمن المعروف أن كيباره لم يستخدم إلا طرائق المنحنيات في حل

مسالة المثلثات الكروية المبنية على مبدأ الكنومونيك[١]. وفيما بعد طور بطليموس هذه الطريقة.

إن لهذه المبادئ في علم المثلثات علاقة مع الكنومونيك. وقد ظهرت في أعمال كيباره الثانية، وفيما بعد أصبحت الشكل الأساسي لعلم المثلثات اليوناني (علم المثلثات). وبشهادة من أحد المعلقين "المجسطي" وهو تيون الاسكندراني (القرن الرابع الميلادي) حيث يقول أن كيباره ألف ١٢ كتاباً لم يصلنا منها عن حساب الأوتار في الدائرة شيئاً ، أما سترابون فيعرج في كتاباته على جدول كيباره عن الأوتار.

تعد المرحلة التالية لتطور علم المثلثات اليوناني ذات صلة وثيقة مع مينيلاي (القرن الأول – الثاني ميلادي) وأهم أعمال مينيلاي كتابه " سفيريكا " وقد حفظت ترجمته العربية فقط عند العالم الخوارزمي بين القرنين العاشر – الحادي عشر ميلادي، وقد قام بهذه الترجمة ابن عراق (ابن العبري، الأمير أبو نصر = منصور بن علي. المترجم)، وتحتوي على فصل مطول عن المثلثات الكروية. ويبدأ هذا الكتاب بالنظرية المعروفة عن الترانسفرسال، الذي أطلقوا عليه في الشرق في العصر الوسيط اسم نظريةالشكل الرباعي التام، وقد لعبت هذه النظرية دوراً هاماً في تطور علم المثلثات الكروية. وقد برهن مينيلاي على نظريته بالنسبة للأشكال الرباعية المستوية والكروية. فيحصل على الشكل الرباعي التام من المربع، إذا استمر حتى يتقاطع كل من ضلعيه المتقابلين، كما يحصل على الشكل الكروي (شكل مماثل) من الكرة في حالة تقاطع أقواسها مع دائرة كبرى، مشكلة مربع كروي. وقد أطلق عليه العلماء في وقت متأخر بقاطع الدائرة.

ضمن بطليموس في كتاب المجسطي وبشكل منهجي الأوتار المثلثاتية. ففي بداية الكتاب "المجسطي" وضعت الكتابات الأساسية عن المثلثات المستوية

---

(١) الكنومونيك – البحث عن قيمة ووضع الظل بواسطة عصا القياس – كنومون – على السطح إذا كان وضع العصا شاقولي، عندها تكون علاقة طول الظل المرسل من العصا بالنسبة لارتفاعها متغير على مدى النهار، وذلك بعلاقته مع ارتفاع الشمس فوق الأفق.

والكروية لجداول الأوتار الموضوعة بفاصل نصف درجة ابتداء من الصفر وحتى ١٨٠° . أما بالنسبة للسينوس (الظل) بفاصل ٢٥% وابتداء من الصفر وحتى ٩٠ ° وقد مكنت هذه النصوص حول المثلثات الكروية من حل مسالة المثلثات الكروية، ولم يخصص لها بطليموس فصلاً عاملاً وإنما وجدت في فصول "المجسطي" حيث نظر إليها كعلاقة بين القيم الفلكية. وبفضل هذه المقدمة عن علم الأوتار في المثلثات كعلاقات تابعية "في المجسطي" تمكن من إيجاد شكل جديد ليس كمتواليات ذات قيم واضحة كما هو الحال في الجداول البابلية، إنما على شكل توابع مستمرة. وتتميز عن طريقة الجداول البابلية بأن مسألة العلاقات التابعية للقيم في علم الفلك اليوناني تستخدم طريقة أخرى، وهي أن القاعدة موضوعة على أساس نظري ترافق مع برهان هندسي.

الفصل الثانـي

الاتجاهات الرئيسة في الميكانيك والفلك في الشرق في العصر الوسيط

تعرضنا في الفصل السابق إلى الاتجاهات الأساسية للميكانيك القديم، الذي يعد الأساس الذي بني عليه ميكانيك الشرق في العصر الوسيط.

وهذا التطور الذي وصل إليه الميكانيك والرياضيات والفلك والعلوم بشكل عام في العصور القديمة كون الأرضية للثقافة العربية، ومهد الطريق لظهور العلوم في العصر الوسيط. فما هي العلاقة بين تشكل هذه العلوم وبين ما وصلت إليه الثقافة الهلنستية (وبخاصة الإسكندرية)، وما علاقتها مع تطور العلوم في الهند واليونان، وما علاقتها مع الطرائق البابلية في مجال الفلك والرياضيات، وما علاقتها مع التطور العلمي في إيران الساسانية؟

في البداية سنتوجه إلى المقدمات التاريخية لهذه العملية. ففي القرن السابع الميلادي حدثت تغيرات هامة في الحياة السياسية في بلدان الشرق الأدنى والأوسط، نتيجة الفتوحات العربية التي توجت بقيام الخلافة العربية الإسلامية ونتيجة لضعف الإمبراطورية البيزنطية وإيران الساسانية بسبب التوتر الحاد والتناقضات الاقتصادية والاجتماعية والحروب العسكرية والاقتصادية استطاع العرب خلال فترة قصيرة جداً من السيطرة على مساحات عظيمة من هذه البلاد.فحتى نهاية العام ٣٠ من القرن الثامن ميلادي دخل تحت لواء الخلافة العربية إضافة إلى شبه الجزيرة العربية أراضى إيران والمقاطعات الآسيوية التي كانت تحت حكم الدولة البيزنطية (سورية

وفلسطين)، ومصر وشمال إفريقيا وشبه جزيرة البيرينيه وصقلية وجنوب إيطاليا (الجزء الأعظم من الإمبراطورية الرومانية) وأرمينيا والجزء الأكبر من آسيا الوسطى وشمال غرب الهند.

وأصبح سكان المقاطعات السابقة ضمن دولة واحدة (الخلافة)، ولم يكن هؤلاء السكان متجانسين لا من حيث الجنس البشري ولا من حيث المستوى الاجتماعي، ولا من حيث درجة التطور الثقافي. ودخلت ضمن حدود دولة الخلافة الإسلامية وعلى امتداد شاسع الثقافة الهلنستية، والتقاليد الثقافية التي ترجع إلى الحضارات الشرقية القديمة.

لقد حفظ التراث القديم بشكله الأصلي ودون تحريف في كل من مصر وسورية وآسيا الصغرى فحسب. ففي الفترات الأولى لهذا العصر اشتهر في العصر الهلنستي في الشرق مدرستان علميتان: مدرسة الإسكندرية ومدرسة الرها. وقد جمعت فيهما كتب عظيمة وكان يعمل هناك كبار العلماء. ولكن نتيجة الاضطهاد الذي وقع في بيزنطة "للعلماء" والثقافة، فقد توقف النشاط الثقافي في مدرسة الإسكندرية في القرن السادس ميلادي. وعلى اثر إعلان الردة العلمية (عام ٤٣١م) انتهى وجود مدرسة الرها أيضاً. وهرب الكثير من علماء النسطورية إلى الشرق (إلى إيران واسيا الوسطى)، وانشأوا مدرسة علمية في نصيبين، حيث أولي فيها اهتمام كبير لدراسة العلوم الطبيعية. وكذلك في إيران الساسانية أنشئت مدرسة كبيرة في جندي سابور، التي انتقل إليها علماء أكاديمية أثينا التي أغلقت عام ٥٢٩م، وقد تأسست هذه المدرسة على غرار مدرسة الإسكندرية. وساعدت الفتوحات الإسلامية على ازدهار هذه المدارس وغيرها من المراكز العلمية في إيران، حيث ساهمت في رفع مستوى الحياة الاقتصادية والثقافية في الدولة الساسانية في ذلك الوقت. ونتيجة لهذا التشجيع تم إنجاز عدد كبير من المؤلفات التي ترجمت إلى اللغتين العربية والفارسية.

أما بالنسبة للتقليد الثقافي القديم في آسيا الوسطى وإيران، فحتى بداية الفتوحات الإسلامية لم يكن عمره اقل من مائة عام. وهناك افتراض على أن العلوم الرياضية والفلكية في آسيا الوسطى بين القرنين التاسع والخامس عشر ميلادي استمدت

أساسها العلمي من الموقع العلمي الذي نشأ في مناطق الزراعة المروية في خوارزم وسوغدة ومارغيان وباكترية وغيرها من مناطق آسيا الوسطى، التي كان تاريخها القديم يزخر بحضارات عالية التطور. ولكن المصادر المكتوبة التي يمكن الحكم من خلالها على هذا الرأي فقدت جميعها. وكان ما وصلنا منها ما كتبه البيروني عن التقاويم القديمة حتى عصر الفترة الإسلامية في خوارزم وسوغدة القديميتن. ويمكن الافتراض أن علم الفلك في أسيا الوسطى حتى بداية الفتوحات الإسلامية تشكل على أساس الطرائق الفلكية البابلية القديمة، التي وصلت إلى هذه المناطق عن طريق الاخمينيين وا يران الساسانية وعلم الفلك اليوناني، ولم يتم التعرف على هذه المنجزات العلمية، كما هو الحال بالنسبة للعلوم اليونانية، إلا بعد الحملات التي قام بها الاسكندر المكدوني.

أظهر الفاتحون العرب، وخاصة في المراحل الأولى للفتوحات الإسلامية تساهلاً مع العقائد والتقاليد التي كانت سائدة عند الشعوب التي دخلت ضمن حدود الدولة الإسلامية، ولم تترافق حملاتهم بالقوة والعنف مع السكان الا في المناطق التي ووجهوا فيها بمقاومة شديدة. وهذا ما أدى في بعض الأحيان إلى عمليات تدمير نتيجة المعار ك، وهذا ما حدث في خوارزم وسغدة. لذلك لم تحفظ المصادر المكتوبة عن العلوم المختلفة باللغة الخوارزمية القديمة والسوغدية، لأنه في المكان الذي احتوى على مواد ثقافية لها علاقة مع العقائد المخالفة للدين الإسلامي والتي كانت سائدة قبل الإسلام أتلفت واندثرت معها الآثار العلمية[١]. وقد دخل معظم السكان الموجودين على أرض الخلافة العربية الإسلام بشكل تدريجي. وهذا ما ساعد على الميزة الاصطفائية للإسلام، حيث تواجد على ارض الدولة الإسلامية مجموعة مسيحية ويهودية ومن الوثنيين. وقد نشأت الحكومة المركزية ووحدت بين المقاطعات التي كانت منفصلة سابقاً تحت لواء واحد هو الدولة الإسلامية على أساس النظام الإقطاعي. وبمساعدة التطور السريع للاقتصاد توفرت الظروف المواتية لنمو علمي

(١) تفيد الأخبار عن حكم الوالي العربي قتيبة بن مسلم في آسيا الوسطى كما كتب البيروني" قتل قتيبة الناس الذين قاوموا الإسلام، وكان جلهم ممن عرف بشكل جيد الكتابة الخوارزمية.

وثقافي. وقد خلقت الوحدة السياسية الاقتصادية ذات العلاقة مع العقيدة الواحدة واللغة الواحدة (اللغة العربية التي أصبحت اللغة الرسمية للدولة ولغة العلوم والثقافة) وكذلك فقد ساعد العرب على إيجاد ثقافة متطورة في البلاد التي فتحوها تزيدتطوراً على ثقافتهم الحالية. ونتيجة لتحلل الصيغة المعقدة للتقاليد والثقافات المحلية فقد أصبحت التربة مهيأة لنشوء ثقافة جديدة متميز ة، عرفت باسم الثقافة العربية أو الثقافة العربية الإسلامية. أما عصر ازدهارها فقد أطلق عليه اسم عصر ازدهار الحضارة الإسلامية.

وعلى الرغم من تمزق دولة الخلافة الواسعة إلى دويلات مستقلة فيما بعد. فان اللغة العربية استمرت كلغة علمية في كل مكان، وكانت إلى جانبها اللغة الفارسية، ولكن بدرجة ضعيفة لا تذكر. وخلال فترة وجيزة نشأت على أرض الخلافة الإسلامية أعداد كبيرة من المراكز العلمية، وشيدت المراصد الفلكية في المدن وجهزت المكتبات في القصور والجوامع. وكان للأعمال التجارية الداخلية ضمن حدود الدولة والخارجية أهمية عظيمة فينقل المعار ف العلمية. فقد تاجر العرب مع الهنود والصينيين والبيزنطيين والروس ومع جميع دول حوض البحر الأبيض المتوسط، ووصلوا حتى نهر الفولغا وسواحل بحر البلطيق، ونفذواحتى أواسط أفريقيا وأبحروا على طول الشاطئ الغربي لإفريقيا ووصلوا إلى مدغشقر. وكان للخليفة سفراء في قصور الإمبراطورية الصينية وقصر كارل العظيم.

وأصبحت بغداد المركز العلمي الأول في الدولة الإسلامية . ففي نهاية القرن الثامن الميلادي وحتى بداية القرن التاسع استقر في بغداد عدد كبير من العلماء والمترجمين والكتاب جاؤا من مختلف البلدان، وكان عدد كبير منهم من مواليد آسيا الوسطى وا يران. كما شيدت في بغداد مكتبة ضخمة ضمنت مخطوطات عظيمة عن الأعمال التطبيقية، ومن ضمنها ما تسلمه الخليفة من كتب من دولة بيزنطة، والى جانب مكتبة بغداد الضخمة كان هناك عدد من المكتبات الاصغر. وأحدثت في بغداد تحت رعاية الخليفة المأمون (٨١٣-٨٣٣م) أكاديمية علمية فريدة من نوعها

سميت بدار الحكمة ضمت مختلف علماء بغداد. كما شيد في دار الحكمة مرصد فلكي، تمت فيه المراقبات والحسابات الفلكية والأعمال في الجغرافية الرياضية، كما أجريت فيه قياسات جديدة لميلان فلك البروج وأطوال درجات خطوط الطول. وكانت نقطة الدفع الأساسية في علم الفلك هي التعرف على الكتابات الهندية في علم الفلك، كما كان للدراسات الإيرانية الساسانية دوراً هاماً، فقد كتبت هذه الأبحاث على أساس التقليد العلمي المحلي، الذي انطلقت جذوره من العلوم البابلية، رغم وجود تأثير فعلي للعلوم اليونانية والهندية.

إلى جانب بغداد قامت مراكز للنشاطات العلمية في الشرق في العصر الوسيط أهمها القاهرة ودمشق وري واورغنتش وبخارى وغازن وسمرقند وأصفهان وغيرها. وقد بقيت الترجمة عن اليونانية والسريانية التي أغنت الثقافة العلمية بجزء هام من الثقافة العلمية للعصور القديمة حتى بداية عهد علماء الدولة الإسلامية، دوراً هاماً في تطور العلوم في الشرق في العصر الوسيط. وفي كثير من الحالات انفردت هذه الترجمات كمصدر وحيد ساعد علماء غرب أوربا في التعرف على العلوم القديمة من خلاله.

تعد الرياضيات من أول العلوم التي ظهرت في بلدان الدولة الإسلامية واحتلت المرتبة الأولى ذات الخواص الحسابية مثل الحساب والجبر والحسابات التقريبية. فدراسة الأعداد وصلت إلى درجة من التطور بلغ المستوى الذي وصل إليه علماء الإسكندرية. وقد دعت متطلبات الفترة إلى الاهتمام بالعلوم الرياضية الحية، على سبيل المثال علم المثلثات المستوية والكروية. وقد تحدد تطور العلوم الرياضية بالرياضيات الشرقية التقليدية (الاتجاه الحسابي الجبري) من جهة أولى وبالخواص المستمدة من العلوم اليونانية المتميزة بنظرياتها المنطقية والاهتمام بالمسائل ذات الصفة التجر يدية من جهة ثانية.

ويمكن أن تنطبق هذه المنهجية على تطور الميكانيك في الشرق في العصر الوسيط، ولكن مع بعض الاختلافات حيث ظهرت تأثيرات علم الميكانيك القديم بدرجة ملموسة أكثر من تأثيرها في الرياضيات. إن الاهتمام في إنشاء ميكانيك شرقي

تطلب التوجه إلى البديهيات في هندسة اقليدس وارخميدس (التوازن)، والعمل بالنظريات الكيفية ضمن حدود الدراسة الفلسفية عن حركة وسقوط الأجسام ضمن الأوساط المختلفة، والبحث عن مصدر هذه الحركة، وذلك بهدف تقسيم الأبحاث إلى دراسة الآلات البسيطة واليتها. كما تم الاهتمام بنظام بطليموس في وضع النماذج (الموديلات) الفلكية عن حركة الأجرام السماوية.

ظهر تأثير التقليد الشرقي بشكل أساسي على علم التوازن والطرائق الكينماتية في الفلك. فمن جهة أولى ظهرت الطرائق الحسابية والجبرية في علم التوازن، مع التفوق في عملية حل المسائل التطبيقية، التي لها علاقة مع قاعدة العتلة وحساب الوزن النوعي للمعادن والفلز ات، ومن جهة ثانية ظهر على الكتابات البابلية القديمة التي دخلت عن طريق الكتابات الفلكية الساسانية. وقد أثرت الطرائق الحسابية البابلية بشكل مباشر. ولكن التقليد اليوناني ذاته الذي اعتمد عليه الكينماتيك الشرقي في العصر الوسيط فقد تشكل بتأثير حقيقي للطرائق الكمية البابلية. وظهر التأثير البابلي في اتجاهين: الاتجاه الأول في تركيب المقالات الفلكية اليونانية، حيث دخل الكثير من الثوابت التي تحددت بمساعدتها أدوار التوابع المنكسرة (المتعرجة) الأساسية في الجداول البابلية. وتشاهد هذه الثوابت غالباً عند كيباره، الذي كان يعرف الأسس التجريبية للنظرية البابلية. والاتجاه الثاني هو الطرائق، رغم أن علماء اليونان عملوا بطرائق أكثر دقة، كانت بعيدة أكثر عن الطرائق الحسابية، التي حفظت لفترة طويلة في التطبيق الفلكي، وكانت دقتها مقبولة. أما التوابع المتدرجة فتصادف أيضاً في علم التنجيم عند بطليموس "الكتاب الرابع" المكتوب بعد كتاب "المجسطي". كما يصادف مزيج من التوابع المدرجة والخطية والمعرجة في أبحاث العصر الهلنستي المتأخر، واستمرت حتى عصر الإسلام.

لقد ظهر التأثير اليوناني والبابلي على علم الفلك الهندي بشكل قوي. وهنا من الطبيعي ان ينشأ سؤال حول طرق وصول الطرائق البابلية واليونانية إلى العلوم الهندية.

إن طرائق علم المثلثات عند بطليموس مشابهة لتصاميم كيباره كما هو الحال بالنسبة للطرائق الأكثر قدماً، ووصلت إلى الهند نتيجة الامتداد الواسع للثقافة الهلنستية والرومانية في الشرق، والى مساهمة اليونانيين الخاصة في إصدار الأبحاث الفلكية أيضاً (١).

أما بالنسبة لطرق استمرار الطرائق البابلية فلها علاقة مع انتشار الحضارة اليونانية ونقلها للهند من خلال الثقافة الإيرانية في عصر الساسانيين. ومن المعروف أن أعمال الفلكيين الهلنستيين فيالشرق مكتوبة في نفس (رو ح) التقلد البابلي، وكانت قد ترجمت إلى اللغة البهلوية (الفارسي الأوسط)، ولم نتعرض في هذه الكتابات إلى تأثير "المجسطي" لان الطرائق الحسابية وصلت إلى ايران الساسانية، ولم تختلط مع النظريات البطليموسية في ذلك الوقت كانتشار طرائق "المجسطي"، ومرت في جميع الاحتمالات (الطرائق الأخرى)، ومن هنا وصلت إلى الهند.

خلال هذا العصر لانتشار العلم من الغرب إلى الشرق أعقبه حركة عكسية وهي انتشار الطرائق الهندية عبر آسيا الوسطى وا إيران إلى الغرب. وظهر التأثير الهندي على الأبحاث الفلكية للخوارزمي. كما لعبت أعمال البيروني دوراً هاماً في انتشار الطرائق الهندية في الغرب.

مر تطور ميكانيك الشرق في العصر الوسيط بنفس الاتجاه الأساسي الذي مر به تطور الميكانيك القديم. ولم يرتبط ذلك بقوة التقليد فحسب لبعض مناطق الثقافات الشرقية، وانما ارتبط بخصائص مستوى التطور التقني أيضاً.

وقد مر بحلقة كاملة من العمل ارتبطت بالمفاهيم الفلسفية العامة للميكانيك، وبشكل أساسي ارتبطت بحقيقة الحركة، وابتدأت هذه الحلقة من الترجمة والتعليقات والشروح على كتابات أر سطو طاليس (إلى هذا القدر أو ذلك طرحت

---

(١) يشهد على ذلك الحقيقة التالية، وهي أن المصطلحات الفلكية الهندية مأخوذة تسمياتها من اللغة اليونانية إلى حد كبير.

هذه الأسئلة في الأبحاث المخصصة بشكل جزئي لموضوع الميكانيك). ومن اكبر المعلقين على كتابات أر سطو طاليس نذكر البيروني وابن سينا. أما المعلقين الذين أتوا في فترة متأخرة في العالم الإسباني العربي فيأتي على رأسهم ابن رشد الذي يعد من اكثر مؤيدي النظرية الارسطو طاليسية. وفيما بعد انتشرت دراسات ابن رشد في أوربا الغربية. وقد ترافقت هناك بتطور الاتجاه المادي العقلاني لفلسفة أر سطو طاليس. وولد ذلك التأثير الحقيقي على تشكل هذه التصورات في أوربا الغربية جدال مستمر بين ابن رشد وابن باجه أحد العلماء الإسبان العرب في القرن الثاني عشر ميلادي حول نقطة الخلاف التي ظهرت وهي التعليق على " فيزياء " أر سطو طاليس.

وكان التطور اللاحق في الاتجاهين الهندسي والكينماتي هو الستاتيك النظري، وكذلك العلم عن الآلات البسيطة واليتها استمراراً للتقليد القديم، وقد أطلق علماء البلدان الإسلامية على علم الميكانيك اسم علم "الحيل" أي الدراسة عن أدوات الحذق والشطارة، وهي الترجمة الحرفية للمصطلح اليوناني $\mu\eta\alpha\nu\eta$.

وكما هو الحال عند علماء العصور القديمة فان الأبحاث في الشرق في العصر الوسيط قسمت الميكانيك إلى دراسة الآلات الحربية، ودراسة أدوات الحذق والشطارة التي فهموا منها بشكل رئيسي عمليات تنظيم وترتيب ر فع الأثقال والماء لري الأراضي، أي الميكانيك التقني بالنسبة للعصر الحديث. ودخلت فصول عن الميكانيك في اغلب الموسوعات العلمية الشرقية في العصر الوسيط تحمل هذا المفهوم الضيق. كما حصل تطور واسع في مجال الطرائق الحسابية لعلمي الستاتيك والهيدروستاتيك، وذلك بعلاقتها مع نظرية الوزن.

يعد التقليد الفلكي القديم بنماذجه (موديلاته) الكينماتية والهندسية لحركة الأجرام السماوية الأساس الذي ارتكزت عليه الأبحاث الكينماتية في الشرق في العصر الوسيط. يضاف إلى ذلك تطور التقليد القديم في الحسابات الكينماتية عند صنع الأجهزة المختلفة، وعند استخدام الطرق الكينماتية في حل المسائل الهندسية، وخاصة

موضوع الحركة في الهندسة، وهي الطرائق التي قام بها أرخميدس في اغلب الأحيان.

يميز في تاريخ الميكانيك في الشرق في العصر الوسيط كما هو الحال في تاريخ الرياضيات ثلاث مراحل مستقلة عن بعضها البعض بشكل واضح.

ففي المرحلة الأولى سادت عملية التعرف على الآثار الثقافية وتمحيصها وبخاصة على الثقافات اليونانية والثقافات الشرقية، وذلك من خلال الترجمات والتعليقات والشروح لأبحاث المؤلفين القدماء.

وبين القرنين الثامن – التاسع تم في بغداد وفي المراكز العلمية الأخرى المنتشرة على ارض الخلافة الإسلامية إعداد العديد من الأبحاث الرياضية المترجمة ووضع التعليقات على أعمال ارسطوطاليس وارخميدس وهيرون "والمجسطي" لبطليموس. كما قام الرياضي الكبير وفلكي القرن التاسع ثابت بن قره بترجمة كتابات ارخميدس. وقد وصل إلينا قسماً من ترجماته لكتابات أرخميدس، علماً بان النسخ الأصلية اليونانية فقدت. ولم يحفظ من الترجمة العربية التي قام بها قسطا بن لوقا البعلبكي في القرن التاسع وبداية القرن العاشر لكتابات هيرون إلا "الميكانيك". وعرف في الترجمة العربية "بنغماتيك" للعالم البيزنطي فيلون.

من الملاحظ أن الترجمات والتعليقات على كتابات أرخميدس وهيرون لها علاقة وثيقة مع التطور العلمي الذي حصل فيما بعد على الاتجاه الستاتيكي الهندسي والستاتيك الكينماتي. فموقع المسائل الميكانيكية "والميكانيك" لهيرون على سبيل المثال في صلب الفصول الميكانيكية في كتاب " المعرفة " لابن سينا، وكتاب "الميكانيك" لأبرز علماء مدرسة بغداد أبناء موسى بن شاكر (تسجل بعض المصادر أن هذا المؤلف لواحد من الأخوة الثلاثة، وهو احمد الذي يعد من أكثرهم خبرة في مسائل الميكانيك).

ويستمر التقليد الهلنستي بأبحاث واسعة عن الأذرع غير المتساوية في الأوزان (القار ستون). ومن أكثرها شهرة كتاب عن "القار ستون" لثابت بن قرة

الذي ترجم إلى اللغة اللاتينية. وقد كان لهذا الكتاب انتشار واسع في أوربا في العصور الوسطى، ويظهر في كتابة هذا المؤلف التأثير القوي لطرائق أرخميدس في المسائل الميكانيكية. كما ساهم التعليق في أعمال أرخميدس في الهيدروستاتيك كنقطة تحول في عملية تطور الأوزان والأثقال، وفي وضع طريقة لتحديد الوزن النوعي للمواد.

وفي هذه الفترة ظهرت أعداد كبيرة من الترجمات "والتعليقات للمجسطي" وغيرها في التعليقات التي تمت في الفترة الهلنستية المتأخرة التي قام بها تيون الاسكندراني، والتي عدت القاعدة الرئيسية لتطور الأبحاث الكينماتية في القرن الرابع الميلادي. وقد كان المجسطي إضافة للأبحاث الفلكية الهندية كأمثلة نموذجية يحذى حذوها عند وضع الجداول والقواعد الحسابية في حساب أوضاع الكواكب والنجوم في الكرة السماوية وفي وضع النماذج (الموديلات) الكينماتية الهندسية لحركتها (الزيج).

وفي خضم هذا النشاط الكبير من الترجمة والتعليقات ظهر تقليد علمي في القرن التاسع ميلادي استخدمت فيه الطرائق اليونانية لحل مجموعة كبيرة من المسائل النظرية والتطبيقية. ومن الواضح انه كان لدراسات أر سطو طاليس وارخميدس وبطليموس تأثير خاص على ميكانيك بلدان العالم الإسلامي وعلى اتجاه الأبحاث المماثلة في الدول الأخرى في الشرق في العصر الوسيط. فحيث انحصر العلماء الهنود والصينيون بإصدار قواعد حسابية منفصلة ومتفرقة، قام علماء البلاد الإسلامية بوضع نظريات متكاملة. وقد انعكس تأثير العلوم اليونانية وخاصة الرياضيات على منهج البحث في الميكانيك، كما أعطيت أهمية خاصة لموضوع الكتابة المنهجية وتكاملها ودقتها ووضوح أسلوبها والبرهان عليها.

وقد قوي هذا الاتجاه بشكل خاص في القرنين العاشر – الحادي عشر وبدرجة اقل في القرن الثاني عشر، الذي يمكن أن ينسب إلى المرحلة الثانية لتطور الميكانيك في الشرق في العصر الوسيط. ففي الأبحاث الميكانيكية والفلكية لهذا العصر استخدم العلماء إلى جانب التقليد اليوناني المنجزات الرياضية التي

كانت معاصرة لهم: وأهمها المنجزات الحسابية الجبرية والطرائق الحسابية الجبرية، علم المثلثات المستوية والكروية. وكانت هذه الأبحاث متميزة ولها نمط شرقي من حيث غزارة الكتابة ونوع الأمثلة ومسائلها ذات الطابع العملي البحت، والمبنية على قواعد حسابية دقيقة. وينتسب إلى هذا العصر عباقرة من أعظم علماء العصر الوسيط في الشرق مثل: الأخوة أبناء موسى بن شاكر والبيروني وابن سينا وعمر الخيام والخازن وثابت بن قرة والبتاني والفارابي والفرغاني.

عاش هذا الاتجاه وتطور في القرن الثالث عشر – الخامس عشر ميلادي وكما هو الحال بالنسبة لمعيار العمل في مجال المشاكل النظرية للرياضيات ومع العلاقة مع متطلبات العصر مثل الطرائق الجديدة الأكثر دقة في مجال الحسابات الفلكية، والمبنية على أساس استخدام النماذج (موديلات) الكينماتية الهندسية لحركة الأجرام السماوية. وقد تطلبت هذه المهمة تطوراً جديداً ومستمراً في الطرائق التقريبية لعلم المثلثات المستوية والكروية وعلم الجبر (وخاصة حل المعادلات من الدرجة الثانية واكثر) إضافة إلى إعادة النظر وتدقيق القيم التي تم الحصول عليها سابقاً، كما أعيد النظر في النماذج (الموديلات) نفسها.

وفي القرنين الثالث عشر – الخامس عشر ازدهرت مدرستان بنشاطهما وكانتا من اكبر المدارس العلمية في ذلك العصر: مدرسة المراغة وعلى رأسها الطوسي والمدرسة السمرقندية وكان فيها اولغ بك الذي جمع في مرصده اكبر علماء ذلك العصر مثل الكاشي وعلي بن محمد القوشجي وقاضي زادهره رومي.

إن ما يطلق عليه شرطياً اسم العصور في تاريخ الميكانيك والفلك في البلدان الإسلامية ينحصر في علوم الجزء الشرقي من العالم الإسلامي في العصر الوسيط. أما في الأجزاء الغربية من العالم الإسلامي فان تطور هذا العلم كان بدرجة أقل كما هو الحال في شبه جزيرة البيرنييه وشمال غرب إفريقيا. فهذه المقاطعات من الخلافة العربية حصلت بسرعة على نوع من الاستقلال الفعلي (في عام ٩٢٩م)، إذ أعلن أمير قرطبة عبد الرحمن الثالث استقلاله وتعيين نفسه خليفة، وفصل إمارة قرطبة عن دولة بغداد.

قامت في دولة قرطبة ثقافة مغربية إسبانية أصيلة، تضمنت إضافة إلى العناصر الشرقية العربية والرومانية الإسبانية على العناصر البربرية واليهودية أيضاً. ونشأت المراكز العلمية في كل من قرطبة واسفيلا وتوليدو وغرناطة وغيرها من المراكز العلمية في شبه جزيرة البيرينيه التي اهتمت بأبحاثها في مجال الرياضيات والميكانيك والفلك. ولكن هناك حقيقة يجب أن تقال وهي أن المستوى العلمي لاعمال الرياضيين المستقلين العرب الاسبان لم يكن على مستو عال من التطور. وقد تميزت أبحاثهم في الميكانيك باستقلالية كبيرة. وتأسس في شبه جزيرة البيبرينيه وفي قرطبة بالضبط أحد المراكز الرئيسية للارسطو طاليسية الغربية. وكان محمد بن رشد من مواليد قرطبة وكانت أبحاثه تدور حول حقيقة ومصادر الحركة التي لقيت انتشاراً واسعاً في أوربا الغربية في عصر الإقطاع وبداية عصر النهضة، هذه الأبحاث التي كان لها مساهمة فعالة في تطور الاتجاه الرياضي لفلسفة أر سطو طاليس.

ويرجع إلى العالم العربي الإسباني ابن باجه شرف الاستمرار والتعمق في المناقشة حول حقيقة ومصدر الحركة. وكان البطروجي والزرقالي، المعروفين في أوربا الغربية باسم البتراغي وازاهيل واللذان كانت لهما النماذج الكينماتية الهندسية لحركة الأجرام السماوية ممثلاً العالم العربي الإسلامي لعلم الفلك في القرن الحادي عشر – الثاني عشر ميلادي. ولكن بسبب الانقسام السياسي للمناطق الغربية للعالم الإسلامي عن الاجزاء الشرقية فان الاتصالات العلمية توقفت تدريجياً مع الشرق، وكانت النتيجة أن معظم الأعمال العلمية التي قام بها العلماء العرب في الشرق لم تصل إلى إسبانيا.ولهذا السبب لم تكن الأعمال العظيمة التي قام بها كل من البيروني والخازني معروفة في إسبانيا. كما لم يعرف في إسبانيا شيئاً عن نتاج الخيام إلا من خلال ما سمعوا به. مثل هذا الانعزال الجغرافي التاريخي لإسبانيا عن جسم العالم الإسلامي انعكس على التطور العلمي ، والذي اتصف بمحدوديته ويمكن أن نطلق عليه اسم العلم العربي الإسباني. وهذا ما جعل جميع المشاكل الميكانيكية في الأندلس تتفق بشكل كامل مع دراسات أر سطو طاليس والتي اضطروا من خلالها إلى البحث والإبداع في هذا المجال ضمن مجال ضيق.

ولكن نشاط العلماء العرب في شبه جزيرة البيرينيه وفي شمال إفريقيا كان له أهمية بالنسبة لتاريخ العلوم. فقد ساعد على الانتشار السريع للمعارف العلمية في أوربا وخاصة أن إسبانيا كانت إحدى المراكز الرئيسية للعلوم الشرقية ومنها انتقل تراث الشرق واليونان (من خلال الترجمة العربية) إلى الدول الأوربية الأخرى.

وفي القرنين الثاني عشر والثالث عشر ميلادي كان يعمل في إسبانيا (وبشكل أساسي في توليدو) عدد كبيرمن المترجمين والكتاب الذين كان اهتمامهم منصب على النصوص اللاتينية أو عملوا بالمؤلفاتالعربية الكثير ة والعظيمة أو قاموا بالترجمة من اليونانية إلى العربية. وكان لهذا النشاط العظيم دوراً بارزاً في التطور اللاحق للعلوم في غرب أوربا، ويمكن مقارنة هذا العمل من حيث أهميته بعمل المترجمين في بغداد ودوره في تطور العلوم في الدولة الإسلامية.

وفي النصف الثاني من القرن الرابع عشر ١٤٩٢ م سقطت هذه الإمارة (قرطبة)، ومع سقوط إمارة غرناطة تقلص العلم العربي الإسلامي الإسباني بشكل ملحوظ.وكان القرن الخامس عشر هو القر ن الأخير للتقدم العلمي في المقاطعات الشرقية للدولة الإسلامية. وكان مقتل اولغ بك وتدمير مرصد سمرقند على يد الأعداء بداية لتدهور العلوم الرياضية والميكانيكية والفلكية في الشرق في العصر الوسيط. وان نشاط الأجيال اللاحقة من العلماء كان بشكل أساسي منصب على الاقتباس والنقل ، وتحول مركز العمل في المسائل الميكانيكية والفلكية والرياضية من الشرق إلى غرب أوربا.

الفصل الثالث

علم التوازن في الشرق في العصر الوسيط

ربما كان للتقاليد اليونانية تأثير وقوة كبيرة على تطور علم التوازن.

وفيما بعد فان تطور هذا العلم (كما هو الحال بالنسبة للهندسة والاتجاه الكينماتي) كان له علاقة مع الترجمة والتعليقات على مؤلفات ارخميدس وهيرون. ولكن ما هي الآلية (الميكانيكية) التي أخذت عن التقاليد اليونانية، وكيف تمت عملية نشوء علم التوازن في الشرق الأوسط؟

تساعدنا المصادر والمراجع من متابعة هذه العملية بصورة دقيقة. وكنا قد ذكرنا أن عصر الهلنستية المبكرة كان عصر تطور التقاليد النظرية في الميكانيك. ولكن دور هذا التقليد النظري انخفض في عصر الهلنستية المتأخرة، وبشكل خاص في عصر انهيار الدولة الرومانية. والشيء الأساسي الذي كان يهم الرومان هي الأعمال التطبيقية المحضة، وذلك من اجل إنتاج الأدوات الميكانيكية (وأهمها هو إنتاج الآلات الحربية والأدوات المساعدة) لذلك اهتم الرومان بتطوير ميكانيك الإسكندرية والإسكندرية المتأخرة.

الأبحاث الهلنستية المتأخرة في مجال علم التوازن:

ماذا حصل للتقليد النظري؟ لم يصلنا حتى ولو مقال واحد عن الميكانيك النظري لفترة انحطاط الدولة الرومانية أو للعصر المتأخر منها، والذي كانت بدايته عند تقهقر مدرسة الإسكندرية. ولا يوجد إلا عدد قليل من المصادر ترجع إلى هذا العصر وحتى بداية عصر الفتوحات الإسلامية، وهذه المصادر القليلة محفوظة باللغتين العربية واللاتينية فقط. ومن غير المؤكد بشكل قاطع هل ترجمت كتابات

ارخميدس في الميكانيك والمسائل الميكانيكية إلى اللغة العربية أم لا. وعلى جميع الأحوال لم يظهر أي أثر يثبت ذلك حتى الآن. والذي وصل إلينا عن تلك الفترة من الترجمات العربية أو الترجمات اللاتينية المترجمة عن العربية سلسلة من الأبحاث أهملت كتابة أسماء أصحابها، وهي ترجع إلى عصر الهلنستية المتأخرة (بعض هذه الكتب يرجع إلى ما قبل اقليدس)، وقد ترجمت هذه الأبحاث في أوربا في العصر الوسيط عندما بدأ الاهتمام يتوجه نحو الآثار العلمية الشرقية في العصر الوسيط والعصور القديمة.

هل استطاعوا كتابة هذه الأبحاث؟ من المشكوك فيه أن تكون هذه الكتابات كتبت في الإسكندرية بمصر (لأنه حتى ذلك الوقت كان الاهتمام في الإسكندرية بالتقليد الحرفي). ولكن الأكثر دقة أن هذا الإنتاج يرجع إلى المدرسة السورية (السريانية) التي أصبحت في ذلك العصر، وخاصة بعد تراجع مدرسة الإسكندرية مركزاً للبحث العلمي، ولم يكن اهتمامها مقتصراً على الميكانيك الذي استمر فيه لسان العلم باللغة اليونانية.

تقع النقطة الفاصلة بين الميكانيك القديم وميكانيك الشرق ضمن إطار التقليد النظري. وهكذا ظهرت الترجمات العربية المبكرة، كما تم وضع سلسلتين من الأبحاث التي تمتد بجذورها إلى علم التوازن الهندسي الارخميدسي من جهة، والى الاتجاه الديناميكي من جهة أخرى. وأصبحت هذه المؤلفات مادة أساسية وقاعدة من أجل بداية تطور علم التوازن في الشرق (كما حدث ذلك في أوربا الغربية) وكان الاهتمام منصب على تحليل ودراسة هذه الكتابات.

كتاب اقليدس عن الموازين:

وصلنا من بين الكتابات المكتوبة باللغة العربية بحثين كتبهما إقليدس، أطلق على البحث الأول اسم "كتاب إقليدس عن الموازين" وقد تم عرض هذا الكتاب بين المخطوطات العربية في مكتبة باريس عام ١٨٥١. وتبين من خلال التدقيق في هذا المخطوط أنه ترجم إلى اللغة العربية من اللغة اليونانية. ويوجد في متن البحث ثلاث بديهيات.

تنص **البديهية الأولى** على ما يلي:

"إذا علق ثقلان متساويان في نهايتي عصا مستقيم ومتجانس من حيث السماكة والنوعية، وعلق العصا على محور يمر من وسطه، عندها تبقى العصا موازية للمستوى الأفقي"..

البديهية الثانية:

"إذا علق ثقلان متساويان أو غير متساويان في الوزن على نهايتي عصا مرتكزة على محور، فان هناك نقطة ما على العصا إذا ارتكزت عليها العصا تكون فيها موازية للأفق "." وا إذا بقي احد الثقلين مكانه، ومن النهاية الثانية للعصا أقيم خط شاقولي على العصا وعلق نفس الثقل الثاني في أي نقطة من هذا الخط الشاقولي بواسطة خيط عمودي يشغل مكان الخط (ليس للخيط وزن)، عند ذلك تبقى العصا محافظة على موازاتها للأفق ".

وخلال عملية إثبات ومناقشة البديهية الثانية قدم المؤلف البديهية الثالثة التي تظهر بشكل واضح في سياق البديهية الثانية. عندما تحدث أن توازن العصا لايختل إذا نقلت نقطة تثبيت الثقل وفق خط عمودي، وبكلمات أدق تبقى قوة تأثير الثقل واحدة في حال انتقال الثقل على امتداد خط تأثيره.

ومضمون البديهية الثالثة هو:

" لنفرض انه علق على نهايتي ذراع الميزان أوزان جعلته في حالة التوازن وموازياً للأفق، فإذا علق في نقطة على امتداد الثقل ثقلاً بديلاً عنه فان الذراع يحتفظ بحالة التوازن ".

ويعد هذا البرهان إعادة لمبدأ التبديل المستخدم من قبل ارخميدس.

وهكذا نلاحظ أن البديهيات تستخدم لحالات معينة لأوضاع الأثقال على العتلة، واختلال التوازن ثم أعادته من جديد بواسطة أوزان جديدة تعلق في الميزان، وذلك حسب مبدأ البديهيات أعلاه.

يقدم المؤلف مثالين عن أوضاع الأثقال وانتقالها على العصا المعلقة على محور. يؤخذ في المثال الأول عصايين عموديين على بعضهما ومثبتين في الوسط

بحيث تصنعان شكل المقص، وعلقت في نهاياته أثقال، ولننظر الآن إلى شروط التوازن لمثل هذا المقص، ففي المثال الأول تحريك نقطة التثبيت بين العصايين في الاتجاهات المختلفة. وفي المثال الثاني تقام على امتداد اتجاهي العصا نقاط كما هو الحال على أقطار دائرتين متساويتين، وتتحرك نقاط تعليق الأثقال على امتداد العصا، وتعلق في نقاط ما على الدائرة أوزان إضافية. ويبين المؤلف انه يمكن منع أي خلل في وضع العصا، وذلك بإعادة وضع ثقلين باتجاهين متعاكسين وعلى مسافتين مختارتين ومتساويتين من نقطة المركز. وقد استخدم اقليدس كلا المثالين كمادة مساعدة من أجل الفرضية التي اتخذت فيما بعد لإثبات القانون الأساسي للعتلة. ولننظر كيف تم هذا الإثبات: لنفرض أن هناكعدداً (رقماً اختيارياً) من الأوزان المتساوية علقت على امتداد العصا، بحيث تحتفظ العصا بوضعية التوازن والتوازي مع السطح الأفقي. فإذا كان هناك وزنين لا على التعيين علقا على هذا الجانب أو ذاك من العصا، ثم أعيد وضعهما ثانية على مسافات متساوية باتجاهين متقابلين من نقطة التعليق، ففي هذه الحالة ستستمر العصا (الذراع) بمحافظتها على وضع التوازن والتو ازي مع الأفق.

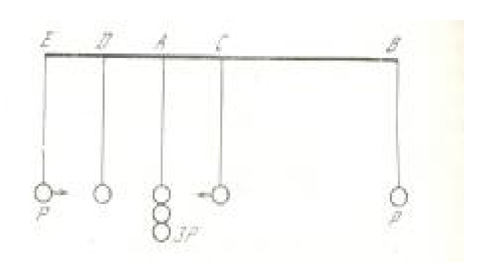
ولإثبات ذلك قام المؤلف بتقسيم العصا (الذراع) المعلقة في منتصفها إلى عدد اختياري (أعشار) من الأبعاد المتساوية. فإذا علق الآن في ثلاث نقاط على العصا (واحدة طبيعية واثنتان مختارتان بشكل إرادي) أوزان متساوية، عندها وعلى أساس الإثبات السابق تحتفظالعصا بوضعية التوازن. وا ِذا أعيدت وضعية النقاط الثلاث بحيث تتوافق الواحدة منها مع الأخرى في كل من النهايتين ولكل من المسافات (الفواصل) المختارة على كلا نصفي العصا، عند ذلك فان حالة توازن العصا وفق الإثبات السابق لا تختل. ومن هنا يظهر أن الاستنتاجات الموضوعة أثناء تحليل المثال الثاني هي حقيقة بالنسبة لتعليق الأوزان في نقاط مختارة من العصا وعلى كلا جانبيها بالنسبة لنقطة التعليق.

قدم المؤلف أثناء عملية الإثبات مفهوماً جديداً عن الثقل، الذي يتوافق مع كل نقطة من طول العصا، ويتغير تغيراً تناسبياً مع تغير طول هذا لذراع (العصا).

ويقول المؤلف أن تخفيض كمية الثقل عند نقله من نقطة لفاصل ما إلى نقطة أخرى تعادل نفس كمية التخفيض في حال نقل الثقل إلى نقطة تالية باتجاه نقطة ارتكاز العصا. ويجري المؤلف مقارنة بين تغير هذه الفواصل (المسافات) مع تغير الأوزان، مراعياً في ذلك اختلاف أوضاع المؤشر الدال على الأوزان، وبشكل أدق أن تغير طول ذراع العصا (العتلة) في وحدة الطول يتوافق مع تغير مؤشرات هذه الموازين بالنسبة لوحدة الوزن. وهذا يعني أن كل تغير في طول ذراع العتلة يرافقه تغير آني يتناسب مع الثقل المعلق في هذا الذراع بالنسبة لنقطة تثبيت هذا الذراع. وا ظهار قوة التحميل التي يعزيها المؤلف إلى تغير وحدة طول الذراع (بالنسبة لنقطة التعليق)، تعني في الحقيقة وحدة التغير في اللحظة التي تتوافق مع وحدة تغير طول الذراع. وبهذه الطريقة استخدم المؤلف في الحقيقة مفهوم القوة الآنية (اللحظية)، ورغم انه لم يقدمه بشكل مباشر. وقد ذكرنا سابقاً أن ارخميدس هو الذي ادخل هذا المفهوم (ولكن بصورة غير واضحة)، حيث انطلق من مفهوم مركز الثقل للشكل الهندسي ومن بعض المفاهيم الهندسية الأخرى. ويستخدم هنا بالنسبة للعتلة. ويتوصل المؤلف من خلال إثباته لهذه الفقرة إلى إثبات القانون الأساسي للعتلة الذي صاغه على الشكل التالي:

"إذا قسمت العصا (الذراع) إلى قسمين غير متساويين، بحيث تكون إحدى نقاط التقسيم هي نقطة تعليق العصا، ففي هذه الحالة ومن اجل المحافظة على توازن العصا بالنسبة للأثقال المعلقة في نهايتها، يجب أن تكون العلاقة عكسية مع أطوال الذراع ".

"نفرض أن الذراع AB معلق في النقطة C والمقسم بحيث يكون 3CA =CB كما هو الحال في (الشكل٢) ويعلق في النقطة B الثقل P . وهنا يطرح المؤلف سؤالاً ما هي قيمة الوزن الذي يجب أن يعلق في النقطة A حتى يبقى الذراع محافظاً على وضعية التوازن وموازياً للوضع الأفقي؟ " ويتم البرهان على الشكل التالي:



شكل –٢– إثبات القانون الأساسي للعتلة في كتاب " يفدوكس عن الموازين " (مخطط)

نمدد CA حتى النقطةE بحيث يصبح (CE = CB) ونقسم المسافة AE بالتساوي في النقطة D ، بحيث يصبح AE= 2CA بهذا الشكل يكون AD= DE =CA=. نعلق الآن في النقاط B،E،C أوزان يعادل كل منها الثقل P، عند ذلك وعلى أساس البديهيتين الأولى والثالثة فان الذراع (العتلة) سيكون في وضع التوازن. وعلى أساس الفرضية السابقة يمكن ألا يختل توازن الذراع (العصا) إذا نقل الثقل P من النقطة E إلى النقطة D، وإذا نقل وبوقت واحد هذا الوزن من النقطة C إلى النقطة A.

إن القيام بعملية تعليق الثقل P في النقطة C يمكن أن تتكرر مرات عدة، وهذا يتطابق مع البديهية الثالثة، ولا يخل توازن الذراع. وبشكل أدق يمكن بمقدار ما هو مطلوب من المرات نقل أوزان متساوية وعلى مسافات متساوية، إذا تم ذلك بوقت واحد وكان الهدف منها تحريك كلا الثقلين من C و D وتعليقها في النقطةA.

في هذه الحالة فان الذراع (العصا) يحتفظ بوضعية التوازن تحت تأثير وزنين مضافين إليه: الثقل P في النقطة B والثقل 3P في النقطة A. وبهذا الشكل فبالنسبة لحفظ توزان العتلة من خلال الأوزان المضافة إلى الذراع BC، يجب أن يكون الثقل أقل بثلاث مرات من الثقل المضاف إلى الذراع AC = BC.

وهذا صحيح بالنسبة لعتلة مختارة مع أي علاقة بالنسبة لطول ذراعها، وبكلمات أوضح يثبت المؤلف انه بالنسبة لحفظ توازن العتلة يجب أن تكون أوزان الأثقال المعلقة إلىنهايتها متناسبة عكسياً مع طول ذراعها.

وها هو الآن أمامنا قانون العتلة غير المتساوية الأذرع المستخدمة في قياس الأوزان.

وهنا سنوجه الاهتمام على خصائص وضع البحث وكيفية استخدامه وا ٍثباته من قبل المؤلف. فهو يختلف عن الأبحاث حول الميكانيك في عصر الإسكندرية (هيرون وغيره) التي أثبت فيها القانون الأساسي للعتلة بمساعدة المدخل الميكانيكي، فان هذا الموضوع كتب على تقليد علم توازن القوى الهندسي.

ويقع في صلب بديهيته التناظر، إضافة إلى مجموعة من المفاهيم الواضحة أو شبه الواضحة المعممة على مجموع الحقائق التجريبية. وتوجد بعض الصيغ للمؤلف قريبة جداً من نمط طرق إثبات بعض الحالات " البداية " عند إقليدس (لهذا السبب يحتمل أن يكون البحث مكتوب من قبل (إقليدس). ولكن البحث في أسلوبه قريب من أسلوب وطريقة ارخميدس على الأغلب، وبشكل أكثر دقة فان هذا البحث قريب من أسلوب بحث ارخميدس في كتابه " توازن الأشكال المستوية " ويرجع كل من تقسيم طول العتلة إلى عدد اختياريمن الأجزاء المتساوية (أجزاء متساوية حسب الطلب) واثبات قانون عدم تساوي ذراع العتلة بالنسبة للأوزان المقاسة إلى الفرضية السادسة لارخميدس. ولكن يختلف عن ارخميدس حيث أن صاحب " كتاب إقليدس عن الأوزان "لا يعالج العتلة من وجهة نظر هندسية، وا ٍنما يبحث في العتلة المتجانسة، وفي الحقيقة يثبت حالة جزئية من القانون الأساسي للعتلة.(بالنسبة للأوزان المقاسة فقط).

"De Canonio" أو ذراع الميزان:

لنعود إلى السؤال حول منشأ " كتاب إقليدس عن الأوزان " حيث يشهد على أصله اليوناني وجود بحث آخر من نفس النوع، ظهر مشابهاً تماماً لهذا الكتاب وهو بحث مهمل أيضاً "De Canonio[١] الذي عرف بشكل جيد في العصر الوسيط في أوربا، وقد ترجم إلى اللغة اللاتينية عن اللغة اليونانية مباشرة، وحفظ في عدد من المؤلفات اللاتينية.

---

(١) الكلمة اللاتينية Canonium (اليونانية (V $\overline{W}$ XaV) وتعني ذراع الميزان.

كتب هذا البحث عن الأذرع غير المتساوية الأطوال في الموازين الرومانية، أي عدم تساوي ذراع العتلة،التي يعلق في نهايتها ثقل ما، أما على امتداد طول الذراع فتوضع أوزان معينة حسب سلم التقسيم. ومن حيث التركيب والمحتوى، فكما هو الحال في النمط الارخميدسي، وان تشكل واثبات "_De Canonio قريب جداً من كتاب " اقليدس عن الموازين " وما يميزه هو ما قيل عن قانون العتلة، وا إهمال ذكر اسم المؤلف في هذا البحث يجعلنا نفترض أنه مكتوب من قبل اقليدس وارخميدس.

وا إذا أخذنا بعين الاعتبار اسم " كتاب اقليدس عن الموازين " الذي يتضمن بين صفحاته ما ذكر في بحث "De Canonio يبدو واضحاً أن هذا البحث نسخ في فترة متأخرة عن كتاب اقليدس.

يعد كتاب "_De Canonio الخطوة التالية في تطور علم التوازن الهندسي الذي انطلق من قانون العتلة بالنسبة للعصا قليلة الوزن مع الأثقال المقاسة والتي ينتهي عندها بحث اقليدس وهنا ينتقل مؤلف "De_Canonio الى دراسة شروط التوازن بالنسبة للعصا المتجانسة والمرتكزة في نقطة ما بالنسبة للثقل المعلق على ذراعها القصير. ويتألف البحث من أربعة مواضيع: يتعرض الموضوعان الأول والثاني للعلاقة العكسية واستخراج شروط التوازن.

ويصيغ المؤلف الموضوع الأول كما يلي " إذا كانت العصا متجانسة من حيث السماكة وطبيعة المادة، وقسمت إلى قسمين غير متساويين وعلق في نهاية القسم القصير ثقل ما بحيث تحتفظ العصا بحالة التوازن والتوازي مع الأفق، فان علاقة وزن هذا الثقل بالنسبة لاختلاف الوزن بين طول الجزئين الطويل والقصير للعصا والتي تعادل العلاقة بين طول العصا كاملة إلى ضعف طول الجزء القصير ".

يتلخص إثبات هذه الصيغة في أن المؤلف يحوله إلى الصيغة الأساسية لبحث إقليدس. وتستبدل العتلة المتماثلة ذات الثقل والذراعين غير المتساويين والثقل المعلق في الذراع الأقصر بعتلة لها ذراع متساو وثقلين متساويين معلقين في نهايتيه.

يؤدي شرط التوازن لهذه العتلة المتعادلة إلى القانون الأساسي للعتلة المثبت لـ اقليدس وارخميدس وغيرهما كما يشير مؤلف "De_Canonio ".

يثبت في الموضوع الثاني نظرية العكس، أي انه في حالة المحافظة على الشرط المبين سابقاً للعصا فإنها تحتفظ بحالة التوازن والتوازي مع الأفق. ويستند مؤلف البحث على دراسة ارخميدس عن مركز الثقل. وهو مركز ثقل الشكل الذي يمثل مجموع القيم المتساوية، وتتوزع بشكل متناظر على خط مستقيم، حيث يقع مركز الثقل وسط هذا المستقيم.

وعند إثبات هذه المواضيع يلفت النظر نقطتان: النقطة الأولى إشارة لاقليدس وارخميدس وغيرهما " حيث يقدم المؤلف في سياق استدلالاته إثبات أرخميدس، أي القانون الأساسي للعتلة في علم التوازن الهندسي، رابطاً ذلك باقليدس. ومن الواضح انه انطلق من " كتاب اقليدس عن الموازين ". ولهذا فان كلا الموضوعين في الـ: "De_Canonio " وطريقة اثباتهما مخطط البحث فيهما يعرجان على بحث اقليدس ويعدان استمراراً لأفكاره الرئيسية، ولكنه تحول الآن إلى العتلة والوزن. أما النقطة الثانية فان المؤلف يبني كامل إثباته في الوزن على العصا المتجانس من حيث النوع والطول الذي يكون فيه مركز الثقل وسط العصا، وهنا ينطلق من نظرية ارخميدس الخامسة حول مركز الثقل والتي استخدمها بالنسبة للعصا المستخدمة كميزان.

أما الموضوع الثالث في بحث "De_Canonio " فينحصر في وضع حالات تحديد وزن الثقل المعلق اعتماداً على الموضوعين السابقين الأول والثاني، وذلك عندما يكون طول العصا والوزن ونقطة التعليق في حالة محددة، أي تستخدم طرق حل العلاقة الخطية البسيطة التي تمثل الثقل المعلق في الذراع القصير للعصا.

وينطلق المؤلف من افتراضه أن العصا (الثقل الموجود في وضع التوازن) هو اسطوانة يعادل قطرها ارتفاع محور متجانس من حيث السماكة والوزن والنوعية. ويثبت المؤلف أن وزن المحور يعادل بالضبط (الارتفاع الموزون

للاسطوانة) مضافاً إليه الثقل المعلق في النهاية الثانية للعصا، حتى تحافظ على وضعية التوازن.

وفي الموضوع الرابع والأخير يتركز الاهتمام على حل المسألة التالية: نفرض أن طولا ما لعصا، وزنها يعادل وزن الثقل المعلق في الذراع القصير والمطلوب إيجاد نقطة تعليق هذا الثقل على الذراع القصير، حتى تحتفظ العصا بوضعية التوازن.

وبكلمات أوضح تحديد العلاقة بين طول ذراع العتلة وبين الثقل المعلق.

بهذا الشكل نجد أن هذه المسالة هي نظرية العكس بالنسبة للموضوع الثالث. وكما هو الحال في الموضوع الثالث يتم حل واثبات المسألة على أساس تكاملي. ويقسم المؤلف العصا إلى أقسام متساوية البعد على المحور المتجانس من حيث المادة والسماكة، هذا وان العصا نفسها معادلة لوزن الثقل. وتتألف المسألة في إيجاد قيمة ما لطول الذراع. ويتحدد ذلك من خلال مجموعة من التناسبات البسيطة والمشتقة.

مثل هذا المضمون لكتاب "De Canonio القريب من بحث اقليدس، ومن حيث تسلسله ومضمونه فهو اقرب من جهة أولى إلى الموضوع التقليدي (كلاسيكي) لعلم التوازن المكتوب باللغة العربية في كتاب " عن القارسطون ".

كما سنر ى فيما بعد – ومن جهة ثانية يسمح بان ننسبه إلى المرحلة المشابهة لولادة ونشوء علم التوازن في الشرق: مثل " كتاب إقليدس عن الأوزان " الذي استمر حتى العصر الذي امتزج به مع التقليد الارخميدسي في التوازن الهندسي.

استخدم في تقليد هذا العصر كلا الاتجاهين لعلم التوازن القديم، ولكن على أساس المصادر التي وصلتنا نجد أن لها خواص ذات اتجاه واحد تقريباً. وتتحول المقالات الأساسية نحو الاتجاه الهندسي. ولكن خلافاً عن ارخميدس فان المؤلفين غير المعروفين لهذه الأبحاث لا يعرجون نحو العتلة الحقيقية في المواضيع الهندسية (العتلة)، ومن خلال الإطلاع على هذه المقالات يمكن ملاحظة كيفية تشكل مفهوم

العتلة المتوازنة، أما النظرية التقليدية (الكلاسيكية) للعتلة غير المتوازنة فبدأت بالتحول نحو المسالة الأساسية في التوازن والوزن، ولكن ما يميز جميع هذه الكتابات هو الأسلوب التقليدي الارخميدسي بالمعنى الكامل للكلمة، وذلك لان الفرضيات ومبدأ الإثبات في هذه الأبحاث هي أرخميدسية شكلاً ومضموناً.

خصائص علم التوازن في العصر الوسيط في الشرق:

المصادر:

يمكن أن يطلق على الأبحاث التي سنتعرض لها اسم " الهلنستية المتأخرة " ولكن ضمن المعنى المحدود فقط، إذا فهم من هذا المصطلح عصر كامل تنتسب إليه المرحلة الأخيرة لنشاط المدرسة العلمية في الإسكندرية، والعصر السوري (السرياني) في تاريخ العلوم، التي حددت على الأغلب مصير الآثار العلمية القديمة. وكما سنرى بعد قليل ظهرت كجسر وصل بين علم التوازن القديم وعلم التوازن النظري في العصر الوسيط في الشرق، وشكل القاعدة التي نشأ عليها علم التوازن في الشرق في العصر الوسيط.

أما بالنسبة لعلم التوازن التطبيقي في العصر الوسيط في الشرق فينتسب بجذوره إلى العديد من المقالات والأبحاث التي وصل إلينا قسم منها، والتي شكلت القاعدة الأساسية في تصميم الآلات البسيطة والأجهزة واليتها بالإضافة إلى شرح الأدوات العملية الأساسية في تشييد الأبنية والمنشات الهندسية. ومن بين هذه المقالات ما قدمه هيرون وفيتروفي وغيرهما.

إن تقسيم (رغم انه شرطياً) علم التوازن القديم إلى فرعين أساسيين هما الكينماتي والهندسي، فان ذلك كان "العلم عن المهارات في صنع الأدوات" من جهة، ومن جهة ثانية تعديله خلال فترة من الزمن. أما تصنيف العلوم عند علماء العصر الوسيط في الشرق فغالباً ما صنف علم التوازن الهندسي مع فرع الهندسة، ولكن نظر إلى "علم الثقالة" نظرة مستقلة. ويقسم ابن سينا (القرن العاشر) في تصنيفه العلوم إلى "علم الثقالة" و"علم الأجهزة" ويأخذ كلا الفرعين اسم "علم الحيل" والشيء المميز أن ابن سينا ينسب هذين العلمين إلى الرياضيات.

لقد ساهمت الظروف التاريخية في العصر الوسيط في الشرق على تطور علم التوازن بشكل خاص. وقد تطلب التعامل النقدي وتطور التجارة الداخلية والخارجية العمل المستمر على استكمال طرائق الوزن وأنظمة القياس والأوزان والموازين. ويعد ذلك سبباً ساعد على تطور علم الأوزان بشكل خاص وعلى إنتاج عدد كبير من التصاميم لمختلف أشكال الموازين، وتطور الأساس النظري لهذا الفرع من العلوم (علم التوازن في شكليه الهندسي والكينماتي) وتطور العلم عن الآلات البسيطة وتركيبها كان ملازماً لمسألة تقنية نقل المواد والأحمال والشيء المميز والبارز بشكل واضح بالنسبة لبلدان الشرق الأدنى والأوسط هو تقنية الري التي تطلبت تصميم آلات رفع الماء. من هنا نلاحظ أن علم التوازن في الشرق في العصر الوسيط تميز باتجاهات رئيسية ثلاث:

١. علم التوازن النظري، وهو استمرار لخط ارخميدس ولكتاب "المشاكل الميكانيكية" لأرسطو طاليس الذي يتعرض إلى المبادىء الديناميكية التي اعتمدت عليها دراسة الموازين.

٢. علم التوازن المائي (هيدروستاتيك) ودراسة الوزن النوعي إضافة إلى الجانب التطبيقي لهذه النظرية (عمل تصاميم مختلفة الوزن وعمل طرائق لتحديد الوزن النوعي للمعادن والفلزات والسوائل).

٣. "علم الحيل" وقد أضاف العلماء في هذا المجال تصاميم لأجهزة جديدة لضرورة الري إضافة على التقاليد القديمة.

يوجد لدينا في الوقت الحاضر معلومات عن أكثر من ٥٠ بحث في علم التوازن، ترجع إلى علماء العصر الوسيط في الشرق، كما أن هناك ١١ مقالة مجهولة المؤلف، وهذه الأبحاث والمقالات موجودة في مختلف مكتبات العالم أو مذكورة في المصادر والكتب التي تغطي الفترة الزمنية الواقعة بين القرن التاسع ميلادي وحتى القرن السابع عشر.

تصنف الأبحاث حسب تاريخ إصدارها على الشكل التالي: يرجع إلى القرن التاسع ميلادي تسع مقالات لسبعة مؤلفين حفظ منها (على شكل مخطوطات) ثلاثة

أبحاث فقط "عن الميكانيك" للإخوة أبناء موسى بن شاكر، ومقالتين في علم التوازن لثابت بن قرة، وفيها فصل مستقل " عن خواص الثقالة وتوازنها " والكتاب الذي عرف في أوربا وعلى نطاق واسع في الفترات اللاحقة والذي حمل اسم "كتاب عن القار سطون".

أما في القرن العاشر ميلادي فقد عرف ١٤ بحثاً لعشرة مؤلفين، وصل إلينا قسم منها، عن طريق كتاب الحكمة للخازن الذي ضمن قسماً من هذه الأبحاث فيه. وكذلك هناك بحث الرازي "عن الموازين الطبيعية والتأثيرات التي ترافقها" وكتاب "في مراكز الأثقال" لابن الهيثم، وبحث آخر عن نفس الموضوع لأبي سهل الكوهي. بالإضافة إلى ذلك حفظ كتاب " البصريات " لابن الهيثم الذي عرض فيه التشابه الميكانيكي للظواهر البصرية، وبحث أبو العباس النيريزي "عن تحديد مقدار المواد الممزوجة" وغيره.

وفي القرن الحادي عشر ميلادي يمكن ذكر مقالة ابن سينا "معيار الذكاء" مع شرح للآلات البسيطة وتركيبها، وبحث للبيروني يتطرق فيه إلى تحديد حساب الوزن النوعي، وبحث اليار بارشيناي " عن الموازين والمقاييس ".

وترجع إلى القرن الثاني عشر ميلادي أبحاث عمر الخيام وتلامذته الذين أعقبوه أمثال الاسفزاري (أبو حاتم = المظفر بن اسماعيل، المترجم) والخازن وغيرهم من العلماء الذين تصدوا لمسألة الوزن والوزن النوعي.

وفي القرن الثاني عشر وحتى القرن السابع عشر ميلادي عرف ١٩ بحثاً و١٤ مؤلفاً حفظ منها ١٧ على شكل مخطوطات. ومما لاشك فيه أن أعمال البحث والتنقيب المستمرة عن التراث والمخطوطات التي كتبها العلماء العرب في العصر الوسيط سيؤدي إلى تزويد العالم بمزيد من المعلومات عن كافة الجوانب المجهولة أو التي ما زالت غامضة عن تطور علم التوازن في العصر الوسيط ليس في الشرق فحسب وإنما في أوربا الغربية أيضاً.

وكما هو الحال عند العلماء القدماء يوجد في كتابات العصر الوسيط الشرقي كتابات حول "علم الحيل" المهتم في دراسة الآلات الحربية، وبخاصة دراسة "المهارة

في تصميم الأجهزة" والتي يعنون بها بشكل رئيسي التصاميم المختصة في حمل الأثقال ورفع الماء بهدف ري الأراضي. وقد تضمنت معظم الموسوعات الشرقية في العصر الوسيط باب خاص عن الميكانيك الذي يفهم منه هذا المعنى. ومن أكثر هذه الكتابات إكتمالاً في هذا المجال هي كتاب "مفاتيح العلوم" الذي خصص أحد فصول هذا الكتاب إلى الميكانيك، ويوجد فيه شرح للآلات البسيطة التي تعمل على الهواء المضغوط لهيرون، وبشكل أساسي عن الآلية (ميكانيكية) المعدة للعمل بمساعدة التصميمات على أساس الهواء المضغوط.

تقع "المسائل الميكانيكية" و"الميكانيك" لهيرون في متن الفصول الميكانيكية من "كتاب المعرفة" لابن سينا، الذي شرح فيه خمس آلات بسيطة مع تركيبها. وشبيه بهذا المضمون موجود في كتاب عن "الميكانيك" للإخوة الثلاث أبناء موسى بن شاكر (والمعروف تحت اسم حيل بني موسى = المترجم).

وظهر بحث آخر لأبناء موسى يعد نقطة انطلاق بالنسبة لعدد كبير من الأبحاث والتعليقات والشروح التي كتبت على أساسه. كما توجد كتابات عن الأجهزة الميكانيكية المخصصة لرفع الماء في بحث الجزري في كتابه "عن معرفة الشطارة في الأجهزة الهندسية " كما يوجد عدد كبير من الشروح عن المنشآت الميكانيكية التي استخدمت في مختلف لبلدان الإسلامية في كتابات جغرافيي ذلك الوقت أمثال: الكندي وابن خلدون وابن ياقوت وغيرهم. وقد ذكرهم البيروني في شرحه عن منشآت الري في خوارزم. كما خصص في بعض الموسوعات العلمية موضوع مستقل عن " علم رفع الماء " الذي يعد فرع من فروع الهندسة. وهناك بحث خاص حول هذا الموضوع يرجع الى العالم المعروف في القرنين العاشر –الحادي عشر الكراجي.

ولكن من هم واضعي هذه الكتابات؟ في الحقيقة يمكن تقسيمهم شرطياً إلى مجموعتين:

المجموعة الأولى: ويدخل ضمنها مجموعة من العلماء المشهورين ليس في العصر الوسيط الإسلامي فحسب وا نما امتدت شهرتهم إلى أوربا أيضاً ومنهم:

البيروني: صاحب الموسوعة العظيمة (القرن العاشر – الحادي عشر) وصاحب عدد كبير من الأعمال المشهورة في مجال التاريخ والجغرافية واللغات (فيلولوجية) والفلسفة، وله فصول متنوعة في مجال العلوم الطبيعية وبخاصة الرياضيات والفلك، كما وضع أسس دراسة الوزن النوعي، الذي يعد من اكبر العطاءات الفكرية في العصر الوسيط. وكذلك ابو علي بن سينا (الشيخ الرئيس – المترجم) (القرن العاشر – الحادي عشر) والمعروف في أوربا باسم Avicenna ومؤلفه "القانون" الذي حظي بتقدير عالمي واعتمد على مدى فترة زمنية طويلة كمصدر أساسيفي مجال الطب ليس في الشرق وحده وا ِنما في أوربا أيضا. وكذلك عرف ابن سينا في أعماله في مجال الفلسفة والرياضيات والفلك، وخصصت بعض كتاباته للميكانيك.

وكذلك عمر الخيام الشاعر العظيم والذي اشتهر أيضا بأبحاثه في الرياضيات، وترجع إليه مجموعة من الأعمال الأساسية في الفلسفة والفلك والميكانيك.

أما ثابت بن قرة (القرن التاسع) فهو فيلسوف ورياضي وفلكي ومترجم ومعلق على كتابات المؤلفين القدماء. ولم تصلنا أبحاث أرخميدس و" القطاعات المخروطية " لابولون إلا من خلال ترجماته فقط. كما حفظ إلى الآن تعليقه على كتاب " المجسطي " وكذلك له عملان معروفان في علم الميكانيك هما: " كتاب عن القار سطون " و " كتاب في استواء الوزن واختلافه وشرائط ذلك) الذي حفظ من خلال كتابات الخازن.

وابن الهيثم (القرن العاشر – الحادي عشر) العالم المعروف على نطاق واسع من خلال أبحاثه في مجال الرياضيات والفيز ياء والفلك، وقد عرف في العصر الوسيط في أوربا باسم الفازن وهو مؤلف الكتاب المشهور "البصريات" وله أبحاث عظيمة في الرياضيات، ومن بينها تعليق على كتاب " الأصول " لاقليدس، وكتابات في الميكانيك حفظت من خلال كتابات الخازن أيضاً.

وابن الكوفي (القرن العاشر – الحادي عشر) وهو العالم العطاء في زمانه، الذي عمل لفترة طويلة في بغداد، وهو أحد مؤسسي مرصد بغداد المشهور، وقام بترجمة والتعليق على كتابات اقليدس وارخميدس، وألف مجموعة من الأعمال الأصيلة في الرياضيات والفلك. كما قام بتأليف عدد من الأبحاث في الميكانيك لم تصل إلينا (تم التعرف على واحد منها من خلال عمل الخازن).

أما الخازن فهو صاحب كتاب "موازين الحكمة" وهو فيزيائي معروف وفلكي النصف الأول من القرن الثاني عشر. كان تلميذاً لعمر الخيام وعمل في بلاط السلطان السلجوقي سانجار. إضافة إلى كتاب " موازين الحكمة " وصل إلينا عدد من كتاباته الفلكية، ومن ضمنها الجداول الفلكية الواسعة " زيج السانجاري ".

المجموعة الثانية من المؤلفين وينضم إليها العلماء المعروفون كمؤلفين لبحث واحد فقط أو لعدة أبحاث اختصاصية، وقد تكون هذه الكتابات أصيلة في بعض الأحيان، ولكن لم تصل إلينا. وقد تم التعرف على هذه المؤلفات من خلال ما نقله المؤلفون الآخرون منها. ومن هؤلاء المؤلفين الاسفزاري (القرن العاشر– الحادي عشر) الذي كتب مقالتين في الرياضيات، وعدة أبحاث في الميكانيك (عثر على واحدة منها وجزء من الثانية في كتاب الخازن والياس بارشيناي (القرن الحادي عشر) مؤلف كتاب " عن الموازين والمقاييس " وعن علم الحيل.

وهناك مؤلفون آخرون لهم مقالات في الميكانيك التطبيقي أمثال الأخوة أبناء موسى بن شاكر (القرن التاسع) وقسطا بن لوقا البعلبكي (القرن التاسع) مترجم كتاب " الميكانيك " لهيرون، والجزري (القرن الثاني عشر) مؤلف أبحاث عن رفع الماء وكتابات ميكانيكية وشرح للأجهزة الميكانيكية ومقالات جغرافية.

علم توازن القوى النظري (الستاتيك النظري):

ينضوي تحت مفهوم علم التوازن في العصر الوسيط مجموعة من الأسئلة عن نظرية العتلة (الذراع) والتوازن ومراكز الثقل ومشكلة القوة والميزان والتوازن المائي و"الديناميك المائي". ولكن المصادر التي يمكن الحصول من خلالها على تصور

عن التوازن النظري في العصر الوسيط في الشرق قليلة. وكذلك فان معظم الأبحاث ذات المحتوى الميكانيكي تتعرض كقاعدة عامة إلى مسائل التوازن التطبيقي.

وفي هذا الكتاب سنتصدى إلى موضوعين كان لهما دوراً رئيسياً على نشوء وتشكل الميكانيك في البلدان الاسلامية، والذي أثر فيما بعد تأثيراً فعالاً على نشوئه في أوربا الغربية. وهذان الموضوعان هما: "كتاب القارسطون"[١] لثابت بن قرة، "وكتاب موازين الحكمة" للخازن.

يشغل كتاب "عن القارسطون"مكاناُ متميزاً في تاريخ علم التوازن في العصر الوسيط. ويمكن أن يعد هذا البحث كحلقة ارتباط وثيقة بين علم التوازن في فترة الهلنستية المتأخرة ذات النشأة السورية (السريانية) وبين الكتابات المبكرة عن علم التوازن في أوربا الغربية. ففي القرن الثاني عشر ميلادي وتحت اسم "Liber Carstonis " ترجمه إلى اللغة اللاتينية المترجم المعروف والمعلق على الكتابات العلمية العربية هيراردو كريمونسكي، وقد حظي هذا الكتاب بانتشار واسع في أوربا الغربية.

لم يكن بحث ابن قرة هو الكتاب الوحيد "عن القارسطون" في الشرق في العصر الوسيط. ولكن هناك ثلاثة كتب كحد أدنى حول هذا الموضوع:

يعود الكتاب الأول إلى أبناء موسى بن شاكر، والثاني للرياضي المعروف قسطا بن لوقا البعلبكي، والكتاب الثالث لابن الهيثم. وجميع هذه الكتب الثلاثة فقدت، ولا نعرف عنها شيء إلا من خلال شرح البيروني لكتاب القارسطون. وقد كان بحث أبناء موسى بن شاكر إلى جانب الكتابات السورية (السريانية) احد المصادر الرئيسية التي اعتمد عليها ثابت بن قرة، أما الكتب الأخرى فقد كان تأثيرها على كتاباته بأشكال متفاوتة – وقد حفظ كتاب "عن القارسطون" بنصه العربي، وكذلك حفظ في عدد من الترجمات اللاتينية.

---

(١) القارسطون: كلمة عربية من الواضح أنها مأخوذة من المصطلح " هاريستون " الذي أطلقوه على الموازين الرومانية ذات الأذرع غير المتوازنة. وهناك وجهة نظر أخرى أن كلمة "هاراسيتون" تتوافق مع الاسم هاراسيتون أو اريستون الذي توجد عنه معلومات عند فيلسوف بيزنطي الذي ذكره في مقالته.

يعد كتاب "موازين الحكمة" للخازن من أهم الدراسات التفصيلية التي تتعرض إلى علم التوازن النظري، وبشكل اقل من التفصيل عن علم التوازن التطبيقي في ذلك العصر، وقد كتب هذا الكتاب بمنهج علمي مونوغرافي[١] معاصر إلى حد ما. وقدم المؤلف في كتابه النتائج على العرض التفصيلي العام، وهو العالم المعروف بنتائجه بالمقارنة مع من سبقه. ويعد كتاب "موازين الحكمة " كتاباً هاماً حيث ضمنه المؤلف الأساس النظري، وطرق التعامل مع الكتاب، إضافة إلى كافة التعديلات الممكنة والمعروفة لديه حول الموازين ذات العتلات المستخدمة في مختلف مجالات النشاطات العلمية والتطبيقية في ذلك العصر. وموازين الحكمة (حسب شرح الخازن) هو العتلة المتوازنة الذراع والمعلقة بواسطة "محور" على شكل " مقص " مع أوزان متحركة وفق نظام معين (مقياس) مع خمس جامات (كفات) يمكن بواسطتها وزن الثقل في الهواء والماء أو في غيره من السوائل. ويقول عنه الخازن: إن " موازين الحكمة " هي موازين غاية في الدقة يستخدمها الناس في العمل، وسبب استخدامها هي الدقة العالية في الوزن ".

وتتوافق غاية المؤلف مع تركيب مؤلفه هذا. ذلك العمل الذي يتألف من ثمانية كتب، بوبت في فرعين أساسيين: الجانب النظري والجانب التطبيقي. وسنتصدى للجانب التطبيقي بعد قليل، أما الآن فسنركز الاهتمام إلى تحليل القسم النظري الذي يرجع إليه الكتابان الأول والثاني من هذا العمل.

يتضمن الكتاب الأول ما كتبه المؤلفون القدماء: ارخميدس ومينيلاي وباب الاسكندراني، وبحث من الهلنستية المتأخرة هو كتاب "عن الثقالة والخفة" لإقليدس، وعن كتب الكوفي وابن الهيثم التي فقدت ولم تصلنا. إضافة إلى تضمينه هذا الكتاب مجمل نتائجه الخاصة. أما الكتاب الثاني فيدخل بين دفتيه بحثان لم يصلا إلينا: " كتاب في استواء الوزن واختلافه وشرائط ذلك "لثابت بن قره وكتاب " عن مراكز الأثقال وتجهيز القارسطون " للاسفزاري – بالإضافة إلى مقتطفات من أعمال السابقين – ويشرح الخازن ذلك على الشكل التالي: "نؤكد أن فهم الأفكار

---

(١) مونوغرافيا: موسوعة في علم محدد، وهي تختلف عن انتسكلابيديا: موسوعة العلوم.

العامة في المسائل المتعلقة بمراكز الأثقال والثقالة والخفة والخواص (الأجسام) في السوائل وفي الهواء.. والمعروف عنها لدينا من الكتابات (القديمة) عن الموازين، وهو مفيد جداً للعلم. أما بالنسبة لكتاب "موازين الحكمة" فهو معروف ومكتوب عنه في عدد من المخطوطات، واعتماداً على هذه المخطوطات صدر الكتاب في حيدر أباد عام ١٩٤١.

" **كتاب عن القارسطون** " **لثابت بن قرة** ":

يمكن تقسيم محتويات كتاب " عن القارسطون " إلى قسمين متميزين:

القسم الأول ويستمر على نهج تقليد أرسطو طاليس، ويحتوي على "المسائل الميكانيكية" ويعرج نحو الاتجاه الديناميكي في علم التوازن. أما القسم الثاني فقد بني على أساس نظرية إقليدس وعلاقتها مع التقليد الارخميدسي في علم التوازن الهندسي.

ويعالج الموضوع الأول من البحث على الشكل التالي "إذا قسمنا الخط المستقيم إلى قسمين غير متساويين:

وثبتنا نقطة التقسيم، ثم دورنا الخط المستقيم بحيث لا يعود إلى وضعه الأول، عند ذلك يرسم المستقيم قطاعين متشابهين لدائرتين نصف قطر إحداهما أطول من الجزء الطويل للخط المستقيم، أما نصف القطر الآخر فهو أطول من الجزء الأقصر " هكذا نظر ثابت بن قره إلى العتلة غير المتناظرة.

يعود إثبات الموضوع بهذا الشكل إلى تأثير التقليد الديناميكي، وينظر المؤلف إلى الذراعين غير المتساويين للعتلة وهما في حالة الحركة. وعند اختلال هذه العتلة فان نهايتها ترسم قوساً، ويتوافق ذراعاها مع قطاعين متشابهين وزاويتين عموديتين متساويتين. ومن السهل أن نلاحظ أن صياغة هذا الموضوع وطرق إثبات ابن قرة قريبة جداً من المناقشة التي تمت في كتاب " المسائل الميكانيكية " الذي يبرهن على أن ذراع العتلة يرسم في هذه الحالة قوساً اكبر من الذراع. وعلى أساس هذا الموضوع بصيغ ثابت بن قرة فيما بعد قانون العتلة كما يلي:

"وهنا أبرهن (يقول ابن قرة) على انه إذا علق خيط على الخط المستقيم AB في النقطة C (بين B-A) وعلق في نهايتيها B وA ثقلين متناسبين عكساً مع جزأيهما، عندها يكون AB (تحتفظ بحالة التوازن) متوازياً مع الافق".

يتم إثبات ابن قرة على الشكل التالي: نقيم على الذراع الكبير AC الفاصل CD بطول معادل لذراع BC ونعلق في النقطتين B و D ثقلين متساويين. في هذه الحالة سوف يحتفظ الذراع بوضعية التوازن، لأنه حسب الإثبات المذكور أعلاه في حالة ميلانه عن هذا الوضع فان الأقواس المتشكلة مع الأثقال المتساوية هي متساوية. نحرك الثقل من النقطة D إلى النقطة A، الآن وحتى يرتفع هذا الثقل لابد من زيادة الثقل المعلق في النقطة B ضمن علاقة محددة، وبشكل دقيق بحيث تكون الأقواس المرسومة في النهايتين A وb متناسبة تناسباً عكسياً مع الأثقال المعلقة فيها، وبما أن الأقواس متعادلة بالنسبة لذراع العتلة تكون الفرضية قد أثبتت (انظر الشكل ٢ ص ٧٢).

بهذا الشكل يقدم ثابت بن قرة برهانه للقانون الأساسي للعتلة معتمداً على الأفكار الديناميكية " للمسائل الميكانيكية " وقد استخدم هنا (رغم انه لم يحدده بدقة) مفهوم "قوة الحركة" التي يرى فيها بعض الباحثين أنها مشابهة لمفهوم عمل قوة ثقل الجسم عند تحريكه، وذلك لان الثقل المعطى "قوة الثقالة" يتناسب مع الحركة، أما في حالة الحركة المعطاة فتتناسب مع وزن الثقل.

إن كل ما تعرضنا له أعلاه أثبت بالاعتماد على الاستخدام الديناميكي والمعرفة الجيدة لمواضيع علم التوازن القديم. وبعد ذلك انتقل ابن قرة الى وضع نتائجه الأساسية، منطلقاً من الافتراضات المعروفة عند ارخميدس والتي مفادها:" إن الأثقال المتساوية على أطوال متساوية تكون متوازية " وهي تتكرر على شكل بديهية أولى في كتاب اقليدس " عن الموازين " وفيما بعد يقدم البديهية الثانية من بحث اقليدس والتي مفادها " انه لا يختل توازن العصا في حالة نقل الأثقال المعلقة على نهايتها على امتداد خط التعليق، وبعد ذلك يقوم بوضع فرضيته وا ٍثباتها كما يلي: " نفرض انه مد إلى إحدى نهايتي الخط (الذي

ينظر إليه كعتلة) خط آخر تحت زاوية ما ولكنها لا تشكل زاوية قائمة، وعلق في نهاية هذا الخط ثقل ما.عندها فان تأثير هذا الثقل سوف يكون كما هو الحال فيما لو انه علق فوق أو تحت العمود الأساسي، المنطلق من نقطة التعليق بالنسبة لهذا الثقل باتجاه الخط الأول ".

إن الفكرة الأساسية لهذا الغرض عند ابن قرة هو انتقاله من العتلة المستقيمة إلى العتلة المنحنية (ذات الشكل المنكسر)، ولكن أهميتها ودورها كبيرين، إذ دخل وبشكل محدد ذراع القوة (الثقل) كأقصر مسافة عن محور الدوران باتجاه خط تأثير هذه القوة، وهذه الفكرة قريبة من الأبحاث المعاصرة.

تعطي جميع هذه الفرضيات التي نظرنا إليها أعلاه في علم التوازن عند ارخميدس وفي أبحاث الهلنستية المتأخرة مفهوماً بشكل معين عن لحظة القوة في المحور النسبي. وفي الحقيقة فان هذه الفرضية لا تشكل إلا حالة خاصة ووحيدة، وذلك عندما تكون العتلة في وضع التوازن مع المستوى الأفقي، ويحتل ذراعها مسافة ما (فاصلاً) عن محور التثبيت بالنسبة لنقطة تعليق الثقل. ويفهم ابن قرة تحت كلمة ذراع أقصر مسافة عن المحور بالنسبة لاتجاه خط تأثير القوة.

والصفة المميزة هو أن هذا التحديد يتوافق مع العتلة الموضوعة في أي مستو كان، وليست مشروطة بالمستوى الأفقي فقط.

لم يقتصر عمل ابن قرة على نظريات العتلة غير المتوازنة. وا ٕنما ينتقل في القسم الثاني من بحثه إلى تحليل شروط توازن العتلة المتوازنه. وأول فرضية في هذا القسم متشابهة مع الفرضية الأساسية في كتاب اقليدس "عن الموازين". ويبرهن على هذه الفرضية على أساس بديهيات ثلاث أولية، ثم انتقل فيما بعد من مثال إلى آخر، وبعد ذلك يدخل في صلب القانون الأساسي للعتلة. وهنا نجد أن ابن قرة يعمل بطريقة عكسية، فهو يبرهن على فرضيته هذه منطلقاً من القانون الأساسي للعتلة، الذي استخدم مرات عدة أثناء عملية المناقشة.

ففي البداية يبرهن على أن وزن ثقلين متساويين يعادل وزن ثقل واحد، مساو لمجموع ثقليهما ومعلق في نقطة متوسطة بين نقطتي تعليقهما. وبتابع فيما بعد على

نهج كتاب إقليدس "عن الموازين" حيث ينتقل من تحليل تأثير الثقلين المتساويين والمعلقين في نقطة ما على العتلة والمتحركين على طولها، وذلك بهدف معرفة مدى تأثير عدد اختياري من الأثقال المتساوية والمعلقة في هذا الجزء. وهنا يقول ابن قرة " لقد أصبح واضحاً انه إذا علق على جزء ما من العصا وعلى مسافتين متساويتين بالنسبة لبعضهما البعض، ما أمكن من الأثقال وحتى اللانهاية، وكانت جميع هذه الأثقال متساوية، فإذا توحدت هذه الأثقال جميعها بثقل واحد يعادل وزنه مجموع أوزان هذه الأثقال وعلق في منتصف هذا الجزء من العصا، فانه من جديد يحافظ على وضع التوازن.

من هنا يتضح أن ابن قره أكمل فعلياً كتاب إقليدس "عن الموازين" الذي قسم العصا إلى أجزاء اختيارية ولكن عدد نهائي بفواصل متساوية، علقت في وسط هذه الأقسام أثقال متساوية نهائية. وينتقل ابن قرة من الرقم النهائي للأثقال إلى الأعداد اللانهائية. أي من التحميل المحدد للعصا قليلة الوزن إلى الحمل المتساوي والمستمر وهذا ما يتصوره في العتلة المتو ازنه، وبشكل أدق الجزء الذي سيعالجه فيما بعد.

يتشكل هذا الموضوع ويبرهن عليه حسب الفرضية التالية: " لدينا عصا على شكل خط مستقيم معلقة في نقطة، وعلى مسافة ما على هذا الخط المستقيم ووفق أبعاد متساوية وضعت أثقال متساوية ومتماثلة بشكل كامل، بحيث تكون مشابهة للتوزيع المتساوي لذراع الميزان. وعلق في النهاية الثانية للعصا ثقل ما بحيث يحفظ توازن العصا وتوازيها مع الأفق، عندها إذا أزيح الثقل وجمعت الأوزان (وفيما بعد) وعلقت في النقطة المتوسطة لهذه المسافة، نجد أن ذراع الميزان يحافظ على وضعية التوازن، أي أن العصا سوف تعود من جديد للتوازي مع الأفق.

إن طريقة البرهان عند ابن قرة قريبة جداً من طرائق علم التوازن الهندسي عند ارخميدس المستخدمة في حساب مراكز الثقل. وفي الحقيقة أن هذا العمل هو حل للمسألة التي تؤدي إلى إيجاد التأثير المتساوي للأثقال المستمرة والتوزيع

المتساوي على ترقيمات العصا، أي إيجاد مركز الثقل للحمل. ومن وجهة النظر الرياضية تكون متساوية القوة حسب العلاقة التكاملية $S_a^b xdx$ التي تنتهي إليها مسألة تحديد حجم القطاع شبه المكافيء، الذي قام ابن قرة بحله في بحث آخر له في " كتاب قياس الأجسام ذات القطوع المكافئة ". ففي البداية أوجد ابن قرة التأثير المتساوي لجسمين متساويين، ثم عمم هذه النتيجة على أي رقم نهائي لأجسام متساوية وموضوعة على مسافات متساوية، وفيما بعد عمم القاعدة على أرقام لا نهائية متساوية. ثم انتقل إلى مسالة الأثقال المستمرة (المتسلسلة) الموزعة على أبعاد متساوية على الذراع. ويتفق الحل الناتج بهذه الطريقة مع التقليد القديم، حيث أثبت ذلك بطريقة التكامل.

وبعد إثبات هذه الفرضية الأساسية انتقل ابن قرة إلى تحليل شروط التوازن للعصا المتوازنه. وصاغ قاعدة إيجاد وزن الثقل المطلوب تعليقه في الذراع القصير للعصا المتوازنة من أجل إعادتها إلى وضعية التوازي مع المستوى الأفقي، وذلك عن طريق معرفة طول العصا ووزنها ونقطة تعليقها. وتعد هذه القاعدة إحدى فرضيات بحث De Canonio الذي يبرهن فيه على علاقة العصا المتوازنة بالنسبة للعصا غير المتوازنة، ولكن دون زيادة طولها أو التعليق في وسط الجزء الحامل للثقل والمساوي لوزن هذه العصا. كما يقسم المؤلف بحث De Canonio مستخدماً العلاقات النظرية القديمة. ويؤدي إثبات ابن قرة إلى عمليات حسابية متتالية التأثير على التناسبات التي حصل عليها من خلال استخدامه للقانون الأساسي للعتلة.

وتنص قاعدة ابن قرة على ما يلي: " نأخذ الفرق بين طولي كلا جزأي العصا، ونجمعه إلى وزن العصا، ونقسم الناتج على طول العصا. وان فكرة الإضافة والتقسيم هنا كما هو الحال عادة في الحواسب. وفيما بعد نجمع العدد الناتج من التقسيم إلى طول العصا ونقسم الناتج على ضعف الجزء الأصغر من العصا (ويتابع ابن قرة) أنا أثبت أن ناتج التقسيم يعادل القيمة التي إذا علقت على الجزء الأقصر

من العصا ستجعلها في وضع التوازن والتوازي مع الأفق". فإذا رمزنا إلى طول العصا AB بالإشارة ١ والى طول الذراعين الطويل CB والقصير CA (حيث

أن C هي نقطة تعليق العصا) بالإشارتين L1 و2 L والى وزن العصا بالإشارة p عندها فان قاعدة التوازن تكون على الشكل التالي:

$$X = \frac{L_1 - L_2}{L} P \frac{L}{{}^2L_2}$$

حيث أن x هو وزن الثقل المطلوب.

إلى أي حد من الاستنتاجات يمكن أن نصل على أساس تحليل كتاب " عن القار سطون "؟

لقد ذكرنا أن هذا البحث يتألف من حيث التركيب من قسمين: القسم الأول وقد كتب بنفس التقليد الديناميكي، والقسم الثاني وكتب بأسلوب علم التوازن الهندسي عند أرخميدس. ويمثل القسم الأول في الحقيقة نموذجاً (موديلاً) ميكانيكياً للظاهرة وتفسيرها الهندسي، المبني على أساس فرضيات وتقليد ديناميكية " المسائل الميكانيكية، ولا يختلف عنها من حيث الأسلوب وطريقة التفسير إلا اختلافاً طفيفاً، ولا يوجد في الحقيقة أي خلاف جوهري وخاصة النتيجة الهامة لابن قرة (تعميم مفهوم الذراع).

أما ميزات القسم الثاني فهي مختلفة تماماً. فهو نتيجة لاستخدام المعالجة الرياضية بالنسبة لمسائل التوازن المبينة على أساس ما وصلت إليه الرياضيات القديمة: مثل طريقة التناسب التي تنتمي إلى نظرية العلاقات ليفدوكس (الطريقة التفصيلية لإقليدس وأرخميدس).

يعد كتاب "عن القار سطوناستمراراً لتطور علم التوازن في عصر الهلنستية المتأخرة، حيث وضعت أهم الكتب منها " كتاب اقليدس عن الموازين " De Canonio المكتوبة على أساس جميع الإثباتات للطرق البديهية القديمة. والنتائج المقدمة فيها هي نتائج قديمة وأصيلة كما هو الحال في العديد مما بلغه ابن قره في مجال الرياضيات والميكانيك.

ويقتصر عمله الأصيل على مناقشة العدد اللانهائي الحقيقي للأثقال. وما يميزه أيضا في العمليات حول العلاقات هو انه (ابن قرة) استخدم بالنسبة للقيم

الهندسية العمل الحسابي في الإضافة والجمع. وقد لعب ذلك دوراً هاماً في التهيؤ للتوسع في مفهوم العدد الحقيقي الايجابي الذي أوجده فيما بعد عمر الخيام.

مركز الثقل:

ذكرنا أنفاً أن مركز الثقل أول ما ظهر كان في أعمال ارخميدس خلال مناقشاته حول مركز الثقل (وهي نقطة توازن الجسم وتسمى "مركز الميل والثقل" بحيث إذا علق الجسم من مركز ثقله، فانه يحتفظ بوضعية ما، هي وضعيته التي كان فيها منذ البداية، وسيتوقف عن الدوران والحركة، ولهذا فان جميع المستويات التي تمر من هذه النقطة تقسم الجسم إلى أجزاء متوازنه بالتبادل " ولا يوجد أي سبب لتغيير وضعه " وفيما بعد يبرهن ارخميدس على انه إذا تم اختلال وضع الجسم (تشويشه) " أفقيا، أي عمودياً على مستواه الأفقي، وفيما بعد على اتجاه مركز الثقل العام " فان الجسم يبقى في وضع التوازن، ذلك أن التأثير الأفقي يمر عبر مركز الثقل المتمثل بتلك النقطة من الجسم التي تكون فيها جميع قوى الوزن وفي جميع اللحظات مؤثرة على جميع أجزاء هذا الجسم، وقوة تأثيرها تعادل الصفر. وقد وضع ارخميدس طرائق تحديد مركز الثقل لمنظومات الأجسام، ولكنه وكما هو الحال في وضعه لقانون العتلة اعتبر هذه المسالة مسألة هندسية، حيث قام بتغيير الجسم الحقيقي ومنظومة الأجسام الحقيقية إلى أشكال مستوية.

والآن كيف تطور هذا المفهوم عند علماء الشرق في العصر الوسيط؟

يتم الجواب على هذا السؤال من خلال كتاب "موازين الحكمة" وبشكل خاص في فصوله التي تحتوي على أبحاث الكوهي وابن الهيثم والاسفزاري وأبحاث الخازن نفسه. وقد تم الحصول على النتائج التقليدية لارخميدس من خلال أعمال هؤلاء العلماء في علم التوازن الهندسي، ومن ثم تعميمها وتطبيقها على الأجسام الفراغية وعلى منظومات هذه الأجسام.

انطلق كل من الكوهي وابن الهيثم من بديهيات ارخميدس، حيث استخدما جميع بديهيات ارخميدس التي لها علاقة مع مفهوم مراكز الثقل لمنظومات الأجسام،

ولكنهما طبقا ذلك على الأجسام الحقيقية التي لها وزن، وفيما بعد أتما بديهات ارخميدس ببعض الإثباتات الخاصة، ولكن على أساس البديهيات الصحيحة بالنسبة للأشكال الفراغية فقط.

"كل جسم تكون سطوحه متوازية وأجزاءه متشابهة يكون مركزه هو مركز ثقله، أي النقطة التي تتقاطع فيها جميع أقطاره" أو "كل جسم محدد بسطوح متوازية ومتقاطعة بمستويات، كل مستويين متقابلين متوازيين وينقسم إلى قسمين متناظرين محددين بمستويين متناظرين، بحيث إذا تم توحيد مراكز الثقل لهذه الأقسام على خط مستقيم، فان مركز الثقل لجميع هذه الأقسام يقع بالضرورة على هذا الخط المستقيم. أما مركز الثقل لجسمين تكون العلاقة عكسية بين بعضهما البعض على مسافات هذا الخط، أي يوجد مركز ثقل لهذين الجسمين يوحد بين مركزي الثقل بمركز ثقل عام " وهنا يجري سياق الكلام عن مركز الثقل للاشكال الهندسية الموشور والموشور السداسي.

وقد انحصر كل من الكوهي وابن الهيثم في تعديل بديهيات ارخميدس وفي المقدمتين. أما التطور العلمي اللاحق فقد ارتبط بالعمل الخلاق والمبدع للاسفزاري الذي أعطى أمثلة ميكانيكية محددة، عن نظرية مركز الثقل بالنسبة للأشكال الفراغية التي يمكن نسبها إلى الارخميدسية.

وقد اهتم الاسفزاري بالمسائل التجريبية. فقد كانت تجاربه على كأس تدحرج فيه كرة واحدة، ثم كرتان لهماقطران متساويان، وفي مرحلة ثالثة استخدم كرتين لهما قطرين غير متساويين. وفي الحالتين الثانية والثالثة من هذه التجربة وضع أنظمة لجسمين فيزيائيين الرابط بينهما ضعيف. " نفرض أن قطر الكون (يقول الاسفزاري) يمر عبر مركز الثقل للجسم الكروي، فإذا دحرجناه في كأس كروي، فان مركز الثقل يقع في مركز الكأس، أي يقع على السهم (عمودي) الذي يوحد بين مركز ثقل الكون ومركز ثقل الكأس.

إذا دحرجنا في هذا الكأس كرتين متساويتين، عند ذلك فان واحد من مركزي الثقالة لهاتين الكرتين لا يتطابق مع السهم، وا ٕنما يتوافق مع سهم جديد يشكل مركز

الثقل لهذه المنظومة (نظام)، وسوف لا يقع على الخط المستقيم الذي يوحد مركز ثقل الكرتين، ولكنه سيقع في وسطه. إذا دحرجت كرتان مختلفتا الحجم، فإنهما ستنطلقان باتجاه قاع الكأس، مشكلتان منظومة لمركز الثقل الذي يقع عليه السهم. والمسافة بين هذه النقطة وبين مركز الثقل لكل من الكرتين تتلسب تناسباً عكسياً مع ثقل (وزن) كل من الجسمين ".

لقد طور الخازن المفهوم السابق، وعرضه على شكل منظومة لجسمين العلاقة بينهما علاقة قوية. وقام بعمله هذا على أساس الموازين ذات العتلات التي تشكل منظومة اللسان والعصا (ذراع الميزان)، وفي هذه الحالة فان مركزي الثقل لكلا الجسمين يقعان على خط عمودي واحد، يقع عليه مركز الثقل للمنظومة.

يبين الخازن، انه في حال وضع أجسام المنظومة وفق خط عمودي (وليس على حط أفقي كما هو عند الاسفزاري) فان مركز الثقل يقع في نقطة تبعد عن مركز الثقل لكلا الجسمين متناسبة عكسياً مع وزنهما. وحتى اللحظة التي تقدم الخازن فيها بأبحاثه لم يتعرض أحد من العلماء إلا إلى منظومة الأجسام التي تقع مراكز الثقل فيها على خط مستقيم يوحد بينها. وينتقل الخازن من الخط المستقيم الأفقي إلى الخط الشاقولي. ومما يميز هذا العالم عن غيره من العلماء أنه تصدى للأشكال الفراغية، وانطلق في مناقشاته من طرق التوازن الهندسي عند أرخميدس. وينتقل بشكل أفقي من المسألة الفراغية إلى المستوى (من الأجسام ذات الوزن إلى الشكل المستوي) أي يتحول في النهاية إلى عملية المقارنة بين السطوح.

لقد تم التصدي الى جانب واحد فقط من جوانب تطور مفهوم مركز الثقل في ميكانيك الشرق في العصر الوسيط، ذلك الجانب المتعلق والى درجة كبيرة بالتقليد الارخميدسي في علم التوازن. ولكن معالجة مفهوم مركز الثقل في علوم ذلك العصر كانت على أساس التقليد الديناميكي.

فعلى سبيل المثال يعلق كل من الكوهي وابن الهيثم مفهوم مركز الثقل بمفهوم مركز الكون، الذي يشكل حسب رأي أرسطو طاليس "مكاناً طبيعياً" " تسعى إليه جميع الأجسام التي تتميز بحركتها " الطبيعية ".

وتنطلق نظرية مركز الثقل عند الكوهي وابن الهيثم من منظومات البديهيات التالية:

١. كل جسم ثقيل (له وزن) له مركز ثقل.
٢. مركز الثقل للجسم هو نقطة وحيدة.
٣. يوجد لكل جسم له وزن نقطة تتوافق مع مركز ثقل الكون، ويكون مركز الثقل للجسم نفسه، إذا وقع الجسم فيها يصبح في حالة السكون.
٤. كل جسم يقع مركز ثقله في مركز ثقل الكون، فان مركز ثقل هذا الجسم يكون في وسطه.
٥. إذا توقف الجسم عن الحركة لا يتغير مركز ثقله.
٦. "... سوف تكون لأجزائه وجوانبه ميول مشابهة لمركز الكون "

وهنا لابد من الانتباه إلى الإثبات الأخير، رغم انه تشكل ضمن إطار النفس الديناميكي، ويعكس في الوقت ذاته تأثير المفاهيم الارخميدسية. حيث أن الحديث عن الميل المتشابه لجميع أجزاء الجسم إلى مركز الكون، فقد بين الكوهي أن لهذا الجسم سعي ارخميدسي ولحظة تساوي.

من هنا نلاحظ أن معالجة مفهوم مركز الثقل عند الكوهي وابن الهيثم يأتي من مفهوم الوزن كقوة طبيعية، لها خاصية التجاذب، وتنتمي إلى التقليد الديناميكي في الميكانيك القديم. ولكن منظومة البديهيات تنتسب إلى مركز ثقل محدد لجسم ثقيل (له وزن) واحد فقط. ويقع التقليد الديناميكي عند الاسفزاري في صلب طريقة تحديد مركز الثقل ليس إلى جسم وحيد، وا إنما إلى منظومة الأجسام الثقيلة.

وبالرجوع إلى تحديد مركز الثقل لنظام الكرتين الذي تعرضنا له منذ قليل فان الاسفزاري يقول: " يسعى كل جسم ثقيل إلى نقطة وحيدة (مركز الكون) إذا لم يشوش بعائق ما، يوقفه أو يصدمه، عندها فان الجسم يبلغ مركز الكون، ومركز ثقل الجسم

يتوافق معه...... وا إذا شوش الجسم بجسم آخر[1]، عندها فان كل واحد من الجسمين لا بد أن يسعى إلى مركز الكون، ولكن هذا غير ممكن، وحتى يتلاقى الجسمان ويتوقف التشويش يحدث بينهما تصادم ودفع. وفي هذه الحالة فان الجسمين يلتحمان ويصبحا كما لو أنهما جسم واحد ثقيل، له مركز ثقل عام، ويظهر مركز الثقل الجديد نتيجة لاتحاد الجسمين. ويسعى هذا الجسم الجديد إلى مركز الكون وينتهي إليه. في هذه الحالة فان مركز الثقل لكل من الجسمين سيقع على مسافة ما من مركز الكون العام، وسوف تكون العلاقة بين هاتين المسافتين متناسبة تناسباً عكسياً مع وزن احد الجسمين بالنسبة للآخر ".

وبهذا الشكل يمكن ملاحظة الإبداع عند هؤلاء العلماء الذين وحدوا وطوروا الاتجاه الميكانيكي القديم فمن جهة أولى وضعوا الأسئلة ذات العلاقة مع مفهوم مركز الثقل، الذي يستخدم الطرق البديهية ذات الأساس المتين. ويعد تحديد مركز الثقل للجسم الفراغي ومنظومة الأجسام ارخميدسية من حيث النفس، كما تعد تعميماً لنظرية الأجسام المستوية، وتؤدي إلى قانون تساوي القوة للعتلة.

ومن جهة ثانية فان نظريتهم عن مركز الثقل لها علاقة قوية مع مفهوم الحركة الطبيعية "والسعي" نحو مركز الكون، وتتبع هذه الأفكار بشكل مباشر من التصورات التي عملوا بها على أساس التقليد الارسطو طاليس عن مفهوم القوة "والسعي" (الجاذبية).

التوازن وأشكاله:

ثبات التوازن (استمرار التوازن):

تبحث نظرية العتلة بكاملها في مشكلة توازن منظومة القوى. ويتعرض أرخميدس إلى العتلة غير المتوازنة والأوزان. وتقدم لنا شروط توازن هذه العتلة قانون العتلة، الذي تم الحصول عليه بواسطة الإثبات الهندسي. ففي أبحاث عصر الهلنستية المتأخرة "كتاب عن القارسطون" درست شروط توازن العتلة مع الأوزان.

---

(١) أي إذا كان جسمان يسعيان بوقت واحد إلى مركز الكون.

ولكن لم يتعرض في جميع هذه الأبحاث إلا إلى حالة واحدة من حالات التوازن: وهي الحالة التي تكون فيها العتلة في وضعية التوازن والتوازي مع المستوى الأفقي. ويجري الحديث فيها عن توازن مجموعة الأجسام الفراغية (العصا – الأثقال)، وفي الحقيقة فان أرخميدس درس الجسم بشكل مستقل، وفي مجال الهيدروستاتيك (التوازن المائي) تعرض إلى توازن الجسم الطافي على سطح السائل.

وللأمانة العلمية يرجع العمل في مسألة التوازن إلى الخازن. هذا العالم الذي كرس فصلاً كاملاً من " كتاب موازين الحكمة " يحمل عنوان " الدراسة العامة لنقطة تثبيت المحور." ومن اجل وضع كتاب " موازين الحكمة " كان لا بد من العمل بنظرية التوازن لمنظومة العصا – اللسان التي اعتمد فيها على حل مسألة حساسية أوزان العتلة.

وهنا ينشأ سؤال طبيعي: لماذا اهتم الخازن بمسألة العتلة، رغم أنها بدت وكأنها حلت في أعمال ارخميدس وأعمال العلماء الذين عاشوا في الشرق في العصر الوسيط قبل الخازن؟ جوهر المسألة انه واجهت العلماء مسألة أخرى: وهي مشكلة التوازن في المنظومة التي تكون فيها مراكز الثقل للأجسام متوضعة على خط عمودي.

وقد قام الخازن بالبحث عن شروط وأشكال التوازن في منظومة العصا – اللسان للأوزان، وهي الأساس النظري لكتابة " موازين الحكمة ".

يقسم الخازن بحثه إلى عدة مراحل. يستثني في المرحلة الأولى اللسان والأوزان، ويدرس شروط توازن العصا الحرة فقط مع الذراع المعلقة إلى محور. فإذا توازت العصا مع المستوى الأفقي، أو انحرفت [عن هذا الوضع] بحركة ما أو [بمؤثر ما] ثقل، عندها يمكن أن تأخذ العصا أحد الأوضاع الثلاثة التالية: التوازن [في هذا الوضع] العودة إلى وضع الحالة الأولى، إعادة الدوران.

واتفاقاً مع ذلك فان الخازن يتصدى لثلاثة أشكال من أشكال توازن محور الدوران الذي يمر عبر نقطة التعليق عند اختلال التوازن:

١. " محور الدوران " في المصطلح المعاصر العطالة.

٢. " محور التغير " توازن غير ثابت.

٣. " محور قسري " توازن ثابت.

ويصف الخازن الحالات الثلاث على الشكل التالي:

الحالة الأولى:

محور الدوران – إذا مر محور الدوران { الذي علقت عليه العصا } عبر مركز ثقلها، أي من منتصفها بالضبط، وكان المحور عمودي على العصا، عندها من السهل دوران العصا تحت تأثير وزن خاص، وتتوقف عن الحركة عندما يزول تأثير هذا الوزن، وتحت تأثيره تأخذ العصا وضعاً أفقياً، ويقسم السهم الذي يوجد بين مركز الثقالة العام ومركز ثقل العصا حسب مقطعها إلى قسمين متساويين في الوضع الذي تتوقف فيه العصا.

الحالة الثانية:

محور التغير. نفرض الآن أن المحور [محور دوران العصا] موجود بين مركز الثقل العام وبين مركز ثقل العصا { ولا ينطبق على محور المسار عبر السهم }[١]، وفي هذه الحالة إذا كانت العصا في حالة الحركة فإنها تعود إلى وضعها { هذا }، لان السهم الخارج من مركز الثقل العام يقسمها إلى قسمين غير متساويين، والجزء الذي يميل هو الجزء الذي ينتقل، لان العصا ستعود إلى وضعها الأول.

الحالة الثالثة: المحور القسري. نفرض أن محور "دوران العصا" موجود في نقطة أعلى من مركز الثقل. فإذا وضعت الآن العصا في حالة الحركة، فان الجزء الذي سيرتفع إلى الأعلى هو الجزء الأكبر، حيث يتحرك ثم يعود إلى وضعه السابق. وبعد اهتزاز قليل للعصا تعود إلى وضع التوازي (المستوي) مع الأفق. في هذه الحالة يقسم السهم العصا إلى قسمين متساويين ومن هنا تأتي أفقيتها.

---

(١) أي أنها عمودية وتتحرك نسبياً إلى مركز ثقل العصا، بحيث تقع أعلى من محورها.

تترافق هذه المناقشات النظرية التي قدمها الخازن مع توضيحات هندسية. كما يتعرض الخازن إلى حساب مساحة مقطع العصا وأجزائها، ويبرهن فيما بعد على مساحة المقطع الأكبر. " وهنا يوجد تفسير لن نقدمه الآن (كما يقول الخازن) لأنه طويل جداً " ويعتمد الخازن في كتابه في البحث الأول " عن الأجسام العائمة " على مناقشة أرخميدس.

تعرض الخازن في المرحلة الثانية من البحث إلى منظومة العصا – اللسان. ولم يدرس هنا تأثير الثقل " إذا علق مع وزن ثقل في منتصف اللسان (يقول الخازن) عندها يكون مركز الثقل [لهذا المركب] في مكان آخر يختلف عن [المكان] فيما لو كانت العصا حرة. ويجب أن يحتل مركز الثقل نقطة. ولكن قاعدة إيجاد مركز الثقل في هذه الحالة تشبه قاعدة تحديد مركز الثقل للعصا الحرة". وبهذا الشكل فان هذه الحالة ترجع إلى الحالة السابقة.

لنفرض أن هناك منظومة العصا – اللسان علاقتان: علاقة عمودية مباشرة، وعلاقة أفقية وعمودية تقسمها **إلى أربع أجزاء متساوية، متقاطعة في مركز ثقل المنظومة. وكما هو الحال في الحالة الاولى فان الخازن** يتعرض إلى ثلاثة أشكال من أشكال توازن المنظومة.

١.محور دوران العصا يمر من مركز ثقل المنظومة " عندها (يقول الخازن) تبقى العصا في وضعية التوازن [في الوضع] الذي كانت عليه، أي التوازن في وضع العطالة.

٢.يمر محور الدوران من نقطة موجودة في وضع عمودي مباشرة فوق مركز الثقل، وهذه الحالة هي حالة " المحور القسري " أي توازن ثابت.

٣. يمر المحور من نقطة موجودة في وضع عمودي مباشرة تحت مركز الثقل. وهذه الحالة " المحور المتغير " (توازن غير ثابت).

لقد وضع الخازن جميع الحالات التي تعرضنا لها عن أوضاع مراكز الأثقال لجميع الأنظمة والأجسام المشكلة لها في جدول خاص.

إن هذه المناقشات صحيحة ومحقة بالنسبة للحالات التي تكون فيها المنظومة متناظرة، أي يكون اللسان على شكل معين ومثبت في منتصف العصا. فإذا كان للسان شكل آخر ولم يكن تثبيته في المنتصف، وا ٍنما إلى أسفل أو أعلى مركز تناظر العصا (رغم أنه على محور متناظر)، عندها يكون للقواعد الموضوعة أعلاه شكل خاص آخر، وفي هذه الحالة لا يتطابق كل من مركز الثقل والعصا واللسان لا فيما بينهم ولا مع النقطة التي يمر منها المحور. وهنا يكون النظام المستخدم أكثر تعقيداً إذا علق إلى العصا ثقل (على سبيل المثال الكؤوس المقترحة. في "موازين الحكمة".

علم التوزان العملي:

ما نعنيه تحت هذا العنوان هو مفهوم الميكانيك التطبيقي (العملي) في الشرق في العصر الوسيط. وهو يجمع بين عدة فروع علمية تتوافق مع تصنيفات ذلك الوقت، وتنتسب إلى علوم مختلفة، لم تكن تلك العلاقة موجودة فيما بينها دائماً . وقد عد علم التوازن الهندسي أحد فروع الهندسة وبعد استقلاله كعلم مستقل أصبح يعرف باسم "العلم عن الأثقال" الذي ينضوي الآن ضمن نظرية التوازن. وبخاصة "علم الحيل" الذي كان ضمن مجال علم الميكانيك، أي علم الآلات البسيطة وتركيبها.

وكما هو الحال عند علماء العصر القديم، يصادف ضمن كتابات العصر الوسيطتقسيم للميكانيك إلى دراسة وتحضير الآلات الحربية، وا ٍعداد آلات الحذق والمهارة، التي فهمها علماء البلدان الإسلامية على أنها آلية (ميكانيكية) رفع الأثقال والماءلسقاية الأراضي بشكل رئيسي. وفي الواقع فان الفارابي (حوالي ٨٨٠– ٩٥٠ ميلادي) أضاف في تصنيفه وعمله عدداً من الأدوات التي يحتاج صنعها مهارة عالية، وكذلك قدم أدوات رياضية تطورت بشكل كبير على يد العلماء الذين عاصروه: " أدوات هندسية معقدة " وغيرها. والى هذه الفترة تنتسب الأدوات الموسيقية والعلوم عن المرايا، وأجهزة صنع الموازين وحتى الفن المعماري والتجارة. كما أضاف ابن سينا " علم الاستخدام والمهارة " ووضعه ضمن فروع العلم، وقد فهم تحت كلمة

فرع كل علم من العلوم مجموع الاستخدامات العملية التي تنتسب إلى هذا العلم، فعلى سبيل المثال ينسب إلى علم الهندسة قسماً كبيراً من العلم الذي ينضوي تحت علم الحيل، وبشكل أدق دراسة حركة الأثقال التي تحرك الأدوات (القوى) وحركة الماء وغيره.

وقد صنف بعض المؤلفين "علم رفع الماء" كفرع مستقل من فروع الهندسة.

ويفهم في الوقت الحاضر من كلمة التوازن العملي في الشرق في العصر الوسيط مجموعة المشاكل والمسائل المتعلقة بنظريات الوزن وتصميم الموازين ودرجة حساسيتها، وطرق تحديد الوزن النوعي للمعادن والفلزات، وكل ما له علاقة بعلم الحيل والفروع التي تنتمي إليه، كنظرية بناء منشآت الري على سبيل المثال.

والمصادر التي يمكن التعرف من خلالها على مسائل ومشاكل علم التوازن العملي في البلدان الإسلامية متوفرة وتفي بالغرض. فنظرية الموازين والأوزان تشغل قسماً هاماً من كتاب " موازين الحكمة " للخازن. كما تصدى إلى هذا الموضوع أبو بكر الرازي (القرن العاشر) الذي يعد من كبار علماء الشرق في العصر الوسيط. وقد كتب الخازن في كتابه فصلاً كاملاً تحت اسم"مٌيز ان الرازي" وهو الفصل الرابع.

كما حفظ من الضياع بحث "عن الموازين والمقاييس" لمؤلفه الياس بارشيناي، إذ يحتوي هذا المؤلف على شرح مطول لمختلف أشكال الموازين ذات الذراع. أما بالنسبة لموضوع تحديد الوزن النوعي، فقد تعرض له أبو منصور النيريزي (المتوفى حوالي ٩٢٢) (وهو أبو العباس الفضل بن حاتم وليس أبو منصور، والمتوفى حوالي ٩٢٢ – ٩٢٣ – المترجم) كما تدخل أبحاث البيروني والخيام على شكل فصول وأبواب مستقلة في كتاب " موازين الحكمة " وقد ذكرنا أبحاث علم الحيل سابقاً).

الوزن النوعي:

سنتكلم عن أسباب التطور المميز لعلم التوازن ضمن منظومة المعارف الميكانيكية في الشرق في العصر الوسيط. وينتسب ذلك بشكل خاص الى

نظرية الوزن والموازين. فقد تطلبت التجارة الداخلية والخارجية التعامل النقدي بالمجوهرات، وتطلب ذلك صنع نماذج من الموازين ذات الأذرع لتتيح الفرصة إلى إيجاد طرائق أكثر دقة في عملية الوزن، وكذلك العمل على وضع أنظمة من أجل تحديد تركيب الخلائط ومعرفة الوزن النوعي للمعادن التي تدخل في تركيب هذه الخلائط. وقد وصلت هذه الأبحاث إلى درجة عالية من الدقة في حساسية الأجهزة..

وكذلك مكن العمل من خلال التعديلات الكثيرة والمعارف المتوفرة من السابق، من صنع نماذج جديدة من الموازين. فاستكمال تقنية الوزن تمت من أجل هدف محدد ووحيد هو العمل على استكمال طرائق تحديد الوزن النوعي. بهذا الشكل نجد أن مسألة الوزن النوعي تتحدد تاريخياً بالعلاقة المتلازمة مع نظريات الوزن.

وهنا لابد من الإشارة إلى أن الجزء الهام والأساسي من مصدرنا حول هذا الموضوع هو كتاب "موازين الحكمة" الذي تصدى لشرح ووصف مختلف أشكال الموازين المعدة بالدرجة الأولى من أجل تحديد الوزن النوعي. وفي المصادر نفسها، فان الأساس النظري هو الطرائق الرياضية، المستخدمة في تحديد الوزن النوعي، وتجسيدها العملي في صنع التصميمات، وهما جانبان متلازمات مع بعضهما البعض.

وتقسيمنا إلى نظري وعملي فيه شيء من الاضطرار، وعلينا أن ننظر إليهما كفرعين مرتبطان ببعضهما البعض، وفي الحقيقة يشكلان جانبان لسؤال واحد.

يعد كتاب" موازين الحكمة " ذو أهمية خاصة، وذلك لأنه يسهم في تسهيل عملية دراسة وطرق تحديد الوزن النوعي للمواد.

ويوضح كتاب "موازين الحكمة" النماذج المختلفة المعدة للتصميمات وتعديلاتها وتطورها التاريخي ابتداء من استخدام وتعديل ارخميدس وحتى طرق الخازن نفسه وتصميماته المتطورة.

لم تصل إلينا سوى معلومات شحيحة عن المحاولات الأولى في تحديد الوزن النوعي للمعادن. وقد أشار بليني في مؤلفه " التاريخ الطبيعي ". إلى أن الأحجار المتساوية بالحجم والمختلفة في طبيعة المادة تتميز عن بعضها البعض من حيث الوزن. كما قام أرخميدس بمثل هذه المحاولات.

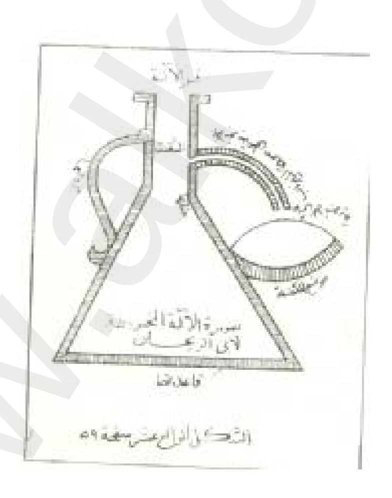
وتبدأ كتابات الخازن في كتابه "موازين الحكمة" بالشروح التي قدمها أرخميدس. ويصف الخازن في الفصل المخصص لهذا الموضوع طريقة عالم الاسكندرية مينيلاي الذي عاش في القرن الأول قبل الميلاد وقدم شروحاً لطرق الذين سبقوه وللذين عاصروه (من علماء مدرسة بغداد أمثال سند بن علي (القرن التاسع) ويوحنا بن يوسف بن الحارث (القرن العاشر) والرازي.

ويعد البخاري (القرن العاشر) استمراراً لاسلافه المباشر ين، وقد برهن بطريقته المعتمدة على مقارنة أوزان الحجوم المختلفة للمعادن النقية والخلائط (في الواقع اعتمد طريقة مينيلاي) وهناك طريقة مشابهة موجودة في بحث أبو العباس النيريزي " عن تحديد العلاقة بين المعادن التي تتشكل منها الخلائط " والمخصصة من أجل معرفة الوزن النوعي للنحاس والرصاص. ويشرح البيروني هذه الطريقة تحت عنوان " طريقة أبو منصور " (طريقة أبو العباس – المترجم) وقد قام النيريزي بوزن نموذجين متساويين من حيث الحجم في خليطة (مزيج) بحيث يكون فيها النموذج الثاني من النحاس الصافي، وخليطة ثانية مماثلة للأولى بحيث يكون فيها النموذج الأول من الرصاص الصافي، ثم قام بتطبيق نظرية العلاقات على التجربة، ومن الملاحظ أن هذه الطريقة لاتختلف في جوهرها عن طريقة الرازي.

وقد قال البيروني أن الوزن النوعي هو أفضل دليل (معيار) لتمييز المعادن والفلزات، ومن الممكن تصنيفها على هذا الأساس، لذلك فان البيروني يرى أن المشكلة الأساسية تكمن في " كيفية وضع العلاقات القائمة بين هذه الخلائط من حيث الوزن والحجم ". ويؤكد على العمل من أجل إيجاد طرائق دقيقة جداً في الوزن. ولهذا فقد صمم البيروني جهازاً خاصاً من أجل هذا الغرض، وأجرى بواسطته سلسلة

من التجارب. ويتميز هذا الجهاز بدقته العالية والشرح الوافي للتجربة. ولننظر كيف وصف ذلك في كتابه " مينورولوجيا" (علم الفلزات).

يقول البيروني " لم أتوقف عند جهاز معين ، وفي النهاية أبعدت جانباً كل ما كان يشوش على عملي إلى الوقت الذي صممت فيه الوعاء المخروطي الشكل (عريض عند القاعدة) وله في نهايته عنق يمتد إلى أعلى ثم ينتهي بفوهة ضيقة، ويتساوى قطر العنق والفوهة والمسافة بين العنق والفوهة. وثقبت فتحه دائرية صغيرة في وسط هذا العنق ووصلت هذه الفتحة بأنبوبة لها نفس قطر الفتحه، ووضعت الأنبوبة بشكل محدب بحيث تتجه نهايتها نحو الأرض، وتحت هذه النهاية وضع مسند للكفة من أجل وضعها عليه أثناء العمل.... وسبب جعل عنق الجهاز ضيقاً حتى يرتفع الماء أكثر في حال إضافة كمية من الماء قليلة..... وبما أننا عملنا فتحة على خاصرة الميزان، لذلك يلاحظ ارتفاع الماء في حال سكب كمية قليلة منه تعادل حبة الدخن فقط (شكل ٣).



شكل -٣- جهاز البيروني في تحديد الوزن النوعي

وقد أجرى البيروني طريقته في تحديد الوزن النوعي كما يلي:

أخذ نموذجاُ وزنه ١٠٠ مثقال (كل ١ مثقال يعادل ٤٢٤ر٤ غ) وحدد وزن كمية الماء المزاحة من الجهاز الموصوف أعلاه. وحتى تتم المقارنة بين الأوزان النوعية اخذ البيروني الماء كمعيار، وهو المستخدم في علم الفزات في الوقت الحاضر، وقد اعتمد الياقوت الأزرق وهو أثقل الفلزات من اجل تحديد الوزن النوعي للفلزات، واعتمد الذهب وهو أثقل المعادن من أجل تحديد الوزن النوعي للمعادن. وقد راعى في تجربته أن يكون المعدن نقياً بشكل كامل، ولا يحتوي على أي نسبة من الشوائب أو المسافات أو الفراغات، بحيث لا تؤثر على نتائج القياسات، وهذا ما نجده متوفراً في الياقوت الأزرق والذهب.

بالإضافة إلى بقية الخصائص التي تشجع على استخدام الياقوت الأزرق والذهب كمعيارين أساسيين في تحديد الوزن النوعي لبقية الأجسام.

وقد اعتبر البيروني أن الياقوت الأزرق أكثر الفلزات ثباتاً وعتوا عن التغير، أما الذهب فهو من أكثر المعادن نقاوة.

اشتغل البيروني أيضاً في قياس الوزن النوعي للسوائل المختلفة. وحدد بشكل خاص الاختلاف في الوزن النوعي بين الماء البارد والماء الحار وبين الماء النقي والماء المالح. وبين أن هناك علاقة بين كثافة الماء ووزنه النوعي.

ونقدم فيما يلي جدولاً للأوزان النوعية لعدد من الفلزات والمعادن كما وضعها البيروني محسوبة على أساس علاقتها مع الماء في الدرجة +٢٠ وهو المعتمد في أيامنا هذه. ومن اجل الحساب الكامل نضيف الرقم الذي حصل عليه البيروني إلى الوزن النوعي للمعيار المعتمد بالنسبة للماء وهو (٣.٩٦ بالنسبة للياقوت الأزرق، ١٩.٠٥ بالنسبة للذهب) ونقسم الناتج على ١٠٠(١٠٠ مثقال وهو وزن النموذج المستخدم).

اسم الفلز او المعدن	الوزن النوعي حسب البيروني	حسب المعطيات الحديثة	اسم الفلز او المعدن	الوزن النوعي حسب البيروني	حسب المعطيات الحديثة
هيماتيت	٤ر١١	٥ر٣ –٤ر٩	الإسفلت	١ر٤٠	١ر١٠–١
الياقوت الأزرق	٣ر٩٦	٤ر١٢ – ٣ر٩٧	الكهرمان	٠ر٨٥	١ر١٠ – ١ر٠٥
الياقوت الأحمر	٣ر٨٥	٤ر٠٨ – ٣ر٩٤	الذهب	١٩ر٠٥	١٩ر٢٥
تورمالين	٢ر٩	٣ر٢٠ – ٢ر٩٨	الزئبق	١٣ر٥٨	١٣ر٥٥
الزمرد	٢ر٧٥	٢ر٧٧–٢ر٦٧	الرصاص	١١ر١٣	١١ر٣٤
اللازوريت	٢ر٦٩	٢ر٩– ٢ر٤	الفضه	١٠ر٤٣	١٠ر٥٠
الكريستال الجبلي	٢ر٥٦	٢ر٦٦–٢ر٥٩	النحاس	٨ر٧٠	٨ر٩٣
			الحديد	٧ر٨٧	٧ر٨٦
العقيق اليماني (جزع)	٢ر٥	٢ر٦٣–٢ر٥٥	القصدير	٧ر٣١	٧ر٢٨
ملح الهاليت	٢ر١٩	٢ر١٧	شبينل	٣ر٥٨	١ر٤–٣ر٥
الطين(غضار)	١ر٩٩	٢ر٦–١ر٨	غاغات	١ر١١	١ر٤٠ – ١ر١٠

كما هو ملاحظ من الجدول فان معطيات البيروني قريبة جداً من المعطيات الحديثة. ويمكن أن يفسر الاختلاف القليل بعدم نقاوة النماذج التي استخدمها البيروني، وتغير درجة الحرارة أثناء إجراء التجربة (لم يشر البيروني تحت أي درجة من الحرارة تمت القياسات). ولأول مرة في تاريخ العلوم ادخل البيروني في التطبيق العملي مبدأ التجربة والمراقبة.

والشيء الهام في هذا الموضوع هو الوعي الكامل عند البيروني لمفهوم تصنيف المعادن والفلزات، وطريقته في العمل المبنية على أساس التثبت من المقولات النظرية ببراهين تجريبية،وهذا يتطلب مدخلاً عقلانياُ في التصنيف.

كان لكتابات الشرق في العصر الوسيط في مجال علم الفلزات والمعادن مكاناً هاماً في آسيا الوسطى والشرق الأدنى. وكانت هذه المحاولات في التصنيف على درجات متفاوتة. وما يهمنا هنا هي تصنيفات العلماء الذين استشهد بهم البيروني مثل

الكندي (المتوفي حوالي ٨٧٣ ميلادي) وابن سينا (٩٨٠-١٠٣٧م) يصنف الكندي الفلزات على أساس المبدأ الذري: تقسم كل مجموعة من الفلزات إلى قسمين، وبدوره كل قسم من القسمين يقسم إلى فقسمين وهكذا، ويفرد بشكل خاص الأحجار الكريمة والمشابهة للياقوت " و " المشابهة للزمرد ".

أما إبن سينا فيقسم جميع الفلزات والمعادن إلى أربعة أقسام: الأحجار الكريمة، الخامات، ومواد الحرارة، والأملاح[(١)].

ويعتمد البيروني في الأساس تصنيفي الكندي وابن سينا،اللذان اعتبرا تقليداً بالنسبة لذلك الوقت، حيث صنفت الفلزات ضمن مجموعات على أساس اللون ودرجة النقاوة. ففي مجموعة الأحجار الكريمة احتل المرتبة الأولى " الياقوت الأحمر "، أما في مجموعة المعادن فكان الذهب (كان يقدم الزئبق على الذهب في بعض الأحيان حيث كان يعد " أم المعادن ").

غير أن البيروني في بحثه عن "علم الفلزات" يبتعد في كثير من الحالات عن هذا التصنيف المعتمد. واتفاقاً مع التقاليد التي كانت شائعة في ذلك الوقت فكان في البداية يقدم شرحاً عن الحجر ذي اللون الواحد، أي الياقوت الأحمر وعن المعادن التي تشبهه، ثم يأتي بد ذلك في السلم الهرمي اللؤلؤ ثم الياقوت ذو الألوان الأخرى، وبعد ذلك بقية المجموعة المشابهة له. وكان المعيار الأساسي عنده، هو التقارب في الوزن النوعي لجميع أحجار المجموعة الواحدة، وعلى أساس هذا المبدأ صنف فلزات مجموعة السيليكات (سيليس)، ورغم أن محاولته هذه استكملت التصنيف التقليدي، ولكن لم تستكمل كل شيء بما فيه الكفاية، رغم انه سعى لإبراز العلاقات الداخلية بين الظواهر، معتمداً في ذلك على معايير علمية أصيلة، لذلك يمكن أن يعد هذا التصنيف من التصنيفات المبنية على أساس علمي في تصنيف علم الفلزات.

---

(١) اعتمد هذا التقسيم فيما بعد من قبل علماء الفلزات الأوربيين وكان أساساً في التصنيفات الجيولوجية حتى القرن التاسع عشر.

وكان لعلم الفلزات عند البيروني وللأبحاث التي أجراها عن الوزن النوعي تأثيراً عظيماً على أفكار وا إبداع الأجيال اللاحقة من علماء الشرق في العصر الوسيط أمثال الخيام والخازن والطوسي (القرن الثالث عشر).

وتعد طرائق الخيام في تحديد الوزن النوعي استمراراً لطرائق البيروني من حيث تقنية التجارب والاستخدام الرياضي للنتائج التي تم الحصول عليها. وكذلك أعمال الخازن التي تمت بدرجة عالية من الإتقان على نظرية الوزن التي استخدمت من أجل تحديد حجم النماذج بواسطة الجهاز المخروطي الذي صممه البيروني والذي ادخله في كتابه " موازين الحكمة "،حيث تضمن شرحاً لثمان فلزات أساسية، مأخوذة من كتاب " المنورولوجيا " للبيروني. ولكون عمل البيروني يعد من المصادر الأساسية فقد استخدمه الطوسي في بحثه المنورولوجي.

أما عن استكمال طريقة تجديد الوزن النوعي فيرجع الفضل فيها إلى الخيام، حيث قدم نتائجه في بحث أطلق عليه أيضاً " موازين الحكمة " أو " فن تحديد كمية الذهب والفضة في الخليطة المكونة منهما "، وهي موجودة في عمل الخازن في الباب الخامس. ويتمركز عمل الخيام على مسألة تحديد كمية الذهب والفضة في الخليطة. وقد وضع الخيام طريقتين، وحل هذه المسألة بمساعدة نظرية العلاقات و" الجبر والمقابلة "(١) والذي يصفه انه " أكثر سهولة من الحساب " وباستخدام نظرية العلاقات ينطلق الخيام على الشكل التالي: يقارن بين ثلاثة نماذج: الخليطة التي يتساوى فيها كل من الذهب والفضة في الوزن، ثم يجد وزن كل منهما في الهواء ثم في الماء. وقام بتحديد الوزن النوعي على أساس العلاقة بين وزن النموذج في الهواء ووزنه في الماء. وفيما بعد تقارن هذه العلاقات مثنى مثنى بالنسبة للذهب والخليطة، ثم بالنسبة للفضة والخليطة. فإذا تساوت في الحالة الأولى عندها يكون النموذج مكون من الذهب الخالص، أما إذا تساوت في الحالة الثانية فتكون الخليطة مؤلفة من

---

(١) طريقة حل المعادلات من الدرجة الأولى القائمة على أساس التعويض (الجبر التعويضي) الذي يتضمن إضافة عناصر متساوية من حيث المطروح وما يقابله في طرفي المعادلة، عندها تؤول العناصر المتشابهة إلى الواحد.

الفضة الصافية. أما إذا وقعت قيمة الوزن النوعي للخليطة بين الاثنين، عندها تكون الخليطة مكونة من الذهب والفضة.

ومن اجل تحديد نسبة كل منهما في الخليطة قام الخيام بتقديم طريقة خاصة، حيث قام بوضع عدة تناسبات، ونتيجة التعامل مع هذه التناسبات يصل إلى معادلة من الدرجة الأولى التي تحل بطريقة " الجبر والمقابلة "، ويوضح الخيام هذه التناسبات بمخطط هندسي على شكل متواصل من الخطوط المستقيمة المختلفة الأطوال. ولكنه لم يراع المقياس عند تجميع الفواصل التي تتفق مع أوزان النماذج، لذلك بقي مخططه الهندسي مجرد مخطط توضيحي غير دقيق.

يؤدي الحل بمساعدة الجبر والمقابلة إلى ما يلي: ينظر الخيام إلى مثال العلاقات بين وزن المعادن في الهواء إلى وزنها في الماء على الشكل التالي: الذهب١٠: ١١، الفضة ١٠: ١٠.٥، الخليطة المركبة من الذهب والفضة ١٠:١٠.٧٥ ويحسب وزن كمية الذهب في الهواء للخليطة على أساس المجهول[١] − × . عند ذلك إذا كان وزن كامل النموذج في الهواء هو ١٠ فان وزن الفضة في الخليطة في الهواء سيكون ١٠−×. ووزن الذهب في الخليطة في الماء يعادل:

$$\frac{١١}{١٠}\times = ١\frac{١}{١٠}\times ،$$

في ووزن الجزء من الفضة في الماء،

$$\frac{١٠.٥}{٤}(١٠-\times) = ١٠.٥ - ١\frac{١}{٢٠}\times ،$$

أما الوزن الكامل لنموذج في الماء فيعادل:

$$١٠\frac{٣}{٤} = ١\frac{١}{١٠}\times + ١٠\frac{١}{٢} - ١\frac{١}{٢٠}\times$$

وبعد التعويض و المقابلة[٢] تصبح المعادلة بالنسبة إلى × على الشكل التالي:

---

(١) تعني كلمة Beuse عند رياضيي الشرق في العصر الوسيط المجهول في المعادلة.

(٢) نقل العناصر المجهولة إلى جانب من المعادلة التي يحتوي عليها المجهول، أما الجانب الآخر فتنتقل إليه الأرقام الحرة.

- ١/٢٠ × + = - ومن هنا ١/٤ × = صفر

أي أن الخليطة مؤلفة من كميتين متساويتين من الذهب والفضة.

احتلت طريقة الوزن في تحديد الأوزان النوعية للمواد المختلفة قسماً عظيماً من بحث الخازن. وقد اعتمد في بحثه طرق كل من مينيلاي والبيروني والخيام، ويدخل الخازن تعديلاً خاصاً على طريقة الخيام، وذلك نتيجة لاستخدامه منهجية جديدة في الوزن على الموازين المائية ذات الكأسين (جافين) أو لثلاثة كؤوس في كتابه "موازين الحكمة".

ولتوضيح الدقة التي وصل إليها الخازن نقوم بإجراء مقارنة بين معطياته والنتائج الحالية (١٠.٤٩)، الذهب ١٩ر٠٥ (١٩ر٢٧)، الرصاص ١١ر٣٢ (١١ر٣٩)، الزئبق ١٣ر٥٦ (١٣ر٥٧)، النحاس ٨ر٦٦ (٨ر٩٤)، الحديد ٧ر٧٤ (٧ر٨٧). من هنا نلاحظ أن الفروق بسيطة. ومثل هذه الدقة في النتائج مكنت الخازن من وضع تباين الوزن النوعي للماء ضمن درجات الحرارة المختلفة (بالنسبة للماء الغالي ٩٩٨ر٠) ويتطابق هذا الرقم مع المعطيات في الوقت الحاضر. وقد مكنت الحسابات الدقيقة للأوزان النوعية من حل سلسلة من المسائل العملية مثل تمييز المعادن والأحجار الكريمة الحقيقية عن المزيفة، ووضع القيم الحقيقية للنقود وغيرها.

لم يكن تحديد الوزن النوعي فحسبهو الهام بالنسبة لأعمال الخازن ، وا ٕنما وضع طريقة لتحديد وزن كل نوع لخليطة مؤلفة من مادتين بشكل مباشر ودون اللجوء إلى عمليةالتنقية وا ٕعادة الصهر.

ومن أكثر أقسام الكتاب السادس "موازين الحكمة" أهمية هو الفصل الخامس الذي يتعرض فيه إلى الأسلوب الحسابي في تحديد نسبة كل معدن من خليطة مكونة من عنصرين، وقد بنيت هذه الطريقة على أساس استخدام نتائج سابقة واستكمال نتائج سابقة واستكمال طرائق تحديد الأوزان النوعية.

ويستخدم الخازن نظرية اقليدس عن العلاقات من أجل وضع التناسبات، وأعطى هذا العمل أساساً هندسياً وبرهن عليه، ثم حصل على هذه النتيجة وبمساعدة طريقة " الجبر والمقابلة " التي كانت معروفة في عصره، أي استخدم الأسلوب الجبري في حل المعادلة من الدرجة الأولى.

ونعود الآن إلى نص البحث: تفرض على سبيل المثال أن المطلوب هو تحديد النسبة المئوية لكل من الذهب والفضة في الخليطة المكونة منهما، وذلك بمساعدة" ميزان الحكمة المعروف بالجامع " وبواسطة كأسين. توزن النماذج في أحد الكأسين في الهواء، ثم توضع في الكأس الثاني وتوضع في الماء، وعن طريق عملية التوازن التي يقوم بها عن طريق تحريك المؤشر على امتداد سلم الترقيم لعيار الوزن يتم وزن النماذج في الماء.

بنيت نظرية الخازن على أساس استخدام نظرية العلاقات، وتتلخص بإيجاد مجموعة تناسبات بسيطة ومركبة يدخل فيها وزن النماذج للمعدنين المطلوب حسابهما. ثم تؤخذ القيم التي تم الحصول عليها في الهواء والماء، حتى يصل إلى نسبة كل من المعدنين في الخليطة. ويجد الخازن أن حل جميع هذه القيم (عناصر التناسب) هو الجواب المطلوب لتحديد كمية الذهب والفضة في الخليطة.

ويقوم الخازن بشرح احتمال آخر لطريقته، ويتلخص ذلك باستخدام ثلاثة كؤوس " ميزان الحكمة المعروف بالجامع " بحيث يوزن في كأسين على التوالي في الهواء والماء نماذج (كميات) متساوية الوزن من الذهب والفضة والخليطة. وتوزن كل وزنه في الماء بمساعدة العيار الموضوع في الكأس الثالث، وفيما بعد يحسب فرق الأوزان لهذه النماذج في الهواء وفي الماء. وهذا الوزن الذي يطلق عليه الخازن اسم الوزن المرفوع، هو قيمة تعادل المزاح للنموذج من حجم السائل، أي ما يسمى في المصطلحات الحالية المدفوع أو المحجوز من القوة. والمناقشة التالية مشابهة للسابقة، وبنيت قاعدة الخازن في هذه الحالة على العلاقة التالية:

$$X = \frac{a_2 - a}{a_2 - a_1}$$

حيث أن: a=cu1 a1 =cm1 a2 = cm2

الخلائط النسبية " المرفوعة للأوزان "، الذهب والفضة،

C –قيم تقسيم (تدريج) المقياس في " ميزان الحكمة أو الجامع "

M2 و m1 و u – تتوافق مع رقم التقسيم على المقياس للخليطة والذهب والفضة ثم يعقب ذلك توضيح هندسي واثبات للعمليات الحسابية، ولكن بعكس المخطط التوضيحي للخيام، فان طريقة الخازن ليست بسيطة، وا إنما طريقة هندسية فعالة في حل العلاقات الخطية بمساعدة مجموعة من العلاقات بالنسبة للمخطط المتطور عن المثلثات المتشابهة واستخدام نظريات خواص زوايا المثلث. ويعد المخطط نفسه واحداً من أولى الأشكال البيانية في تاريخ الرياضيات (سنتحدث عن شكل آخر لمثل هذه المخططات البيانية في الفصل المخصص للأجهزة الفلكية في الشرق في العصر الوسيط).

تؤدي طريقة " الجبر والمقابلة " إلى وضع وحل المعادلات الخطية، وذلك بواسطة " التكامل والتقابل " ويبين الخازن أن الطرق الثلاثة تنتهي إلى النتيجة نفسها.

الموزازين والوزن:

من أكثر المعلومات اكتمالاً عن الأشكال المختلفة للموازين وتصميماتها وطرائق استخدامها، ونظرية الوزن نجدها في كتاب " موازين الحكمة " يشرح الخازن في هذا الكتاب كافة التعديلات على المو ازين التي كانت معروفة لديه والتي شملت مواضيع عن الموازين المتساوية الأذرع والموازين غير المتساوية الأذرع ذات الكفتين، ومختلف نماذج الموازين والقبان المستخدمة في المجالات العملية اليومية. وكذلك الموازين الدقيقة الخاصة بأعمال الصرافة التي تتشكل فيها الأوزان قطع نقدية ذات قيم مختلفة.

وكذلك هناك فصول خاصة عن تركيب الموازين التي استخدمت في تطبيقات علم المساحة (الموازين الأرضية) والموازين الساعية التي استخدمت في المراقبات الفلكية. وسنتحدث عن هذه الأجهزة فيما بعد. أما الآن فسيكون اهتمامنا موجه إلى الموازين التي أعطاها الخازن أهمية خاصة: الموازين المخصصة لتحديد الوزن النوعي.

يشرح الخازن الموازين التي كتب عنها أرخميدس، وميزان الرازي، وميزان البيروني، ونموذجين من الموازين للخيام،وميزان الاسفزاري، وميزانه الخاص الذي أطلق عليه اسم " ميزان الحكمة أو الجامع ".

تتألف موازين ارخميدس من عتله متوازنة الذراع لها كفتين ثابتتين على نهايتيه، وعيار للوزن متحرك، ومقياس، زاوي مدرج على الذراع. وقد خصصت هذه الموازين لتحديد كمية الذهب والفضة في خليطة ما فيوضع في إحدى الكفتين على التوالي وزن نموذج الذهب ثم نموذج الفضة الخليطة في الهواء، أما الكفة الثانية فترسل في الماء (وزنه في الماء) ويتم التوازن بتحريك العيار. وحسب رأي الخازن فان هذه الطريقة غير كافية لأنها لا تلائم إلا لقياس الذهب والفضة فقط، وغير ملائمة لمختلف أنواع الماء، وذلك لأنه بسب التباين في الماء يحصل اختلاف في الوزن. أي أن هذه الموازين لاتلائم إلا سائل محدد وزوج من المعادن.

وكذلك خصص لميزان الرازي فصل خاص في كتاب " موازين الحكمة ". ومن ميزات هذا الميزان أن إحدى الكفتين ثابتة على نهاية الذراع، والكفة الثانية حرة يمكن أن تتحرك على امتداد الذراع. ويتميز ميزان الرازي عن ميزان أرخميدس عند وزن المعادن في الماء لا تغمر الكفة بالماء بل يوضع الماء فيها فإذا وقعت نقطة توازن الميزان تحت الكفة المتحركة عند وزن الفضة، يستدل عليها من خلال A، أما بالنسبة للذهب والخليطة فيستدل عليها على التوالي من خلال B وC، عندها ستقع النقطة C بين A وb. أما علاقة كمية الذهب إلى كمية الفضة في الخليطة فسوف تكون مساوية للعلاقة CB:AC .

وهكذا يتخلص الرازي من قصور ميزان ارخميدس. ويستطيع ميزانه أن يقيس أي خليطة مؤلفة من أي زوج من المعادن، وفي أي سائل، ولكن دقة هذا الميزان ليست عالية.

أما ميزان البيروني فشرحه في كتابه "الإرشاد في أحكام النجوم" ويتألف ميزانه من ذراعين غير متساويين مع كفة ثابتة في نهاية الذراع القصير،

وتتحرك على امتداد الذراع الطويل صنجة لها وزن ثابت، وهذا الجزء من الذراع مدرج بتقسيمات. ويستخدم ميزان البيروني من اجل وزن الجسم في الهواء فقط، وطريقة عمله على أساس " توازن العلاقات " الذي يتحدد على الشكل التالي: "هذه مساواة بين علاقتين، على المقياس الأصغر ثلاث قيم" النقطة الأولى والثانية جعلها البيروني مسافة نقاط الأوزان المعلقة عن مؤشر الميزان، أما النقطة الثالثة والرابعة فهي أوزان الأثقال.

والتعقيد الأساسي في طريقة الرازي هي ضرورة المتابعة المستمرة بحيث يبقى وزن وحجم الكفتان متطابقان بدقة، والحصول على هذا التطابق كان شديد الصعوبة. وقد اقترح الرازي أيضاً عدة طرق صقل خاصة لكفتي الميزان من الداخل أو الخارج. وقد أزال البيروني هذه الصعوبة، بمساعدة كأس مخروطي حيث توصل إلى دقة عالية في تحديد حجم الجسم.

وبهذا الشكل لم تعد هناك ضرورة لوزن الجسم في السائل، ولكن هنا يتحدد عدم كفاية طريقته بمقدار ما تتنى له ليس بقياسرواحد وا ٕنما بقياسين:

القياس الأول وزن الجسم على الميزان، والقياس الثاني هو قياس حجم هذا الجسم بمساعدة الكأس، وبالوقت نفسه كما هو الحال عند الرازي تعامل مع عملية واحدة.

إن نظريات الوزن عند عمر الخيام كرست في بحثين نوهنا عنهما أعلاه هما " ميزان الحكمة " وبحث " القسطاس المستقيم "(١).

في البحث الاول من أبحاث الخيام يشرح الموازين ذات الذراع المتوازن والمتجانس من حيث القطر وطبيعة المادة للذراع (العاتق) ذو الشكل الاسطواني وله كفتان متساويتان بالحجم ومعلقتان في نهايتي الذراع. ويستخدم الخيام طريقتين للوزن في هذه الموازين: في الطريقة الأولى يغمر كلا الكفتين مع الأثقال الموزونة مع الصنجات في الماء – وفي الطريقة الثانية تغمر الكفة الحاملة للجسم الموزون في الماء، أما الكفة الثانية فتبقى في الهواء.

---

(١) القسطاس – العوائق المختلفة للأشكال.

إن عدم كفاية الطريقة الثانية حسب ملاحظة الخيام ذاته هي أنها مشروطة بسلسلة من القياسات في ماء له كثافة واحدة. أما من حيث التصميم فليس في تصميم هذه الموازين شيء جديد. أما الجديد فكان طريقة حساب الوزن النوعي فقط.

والشيء الهام هو الذراع غير المتساوي للموازين ذات الصنجات المتحركة، هذه الموازين المخصصة لقياس وزن الذهب والفضة بواسطة صنجات حديدية محددة. وفي إحدى كفتي هذا الميزان أشر طة ذات رؤوس (أسنان) يمكن إن تركب في احد التجويفين: بالنسبة للذهب يقاس الوزن بالدينارات (دينارة واحدة = ٢٣ر٤غ) وتقاس الفضة بالمثقال (١ مثقال = ٩٧ر٢ غ) ويحدد على الذراع (العاتق) ثلاث صنجات متحركة تتوافق بدورها مع ثلاثة مقاييس (سلالم)، يشير المقياس الأول إلى وزن الجسم الموزون بالمئات، والمقياس الثاني بالعشرات_والمقياس الثالث بالآحاد حتى ٩ أما الرابعة فتقيس الأجزاء العشرية. أما على الذراع القصير للعاتق فيوجد تجويفان مسافتهما عن نقطة تعليق العاتق تتناسب مع ٧-١٠ أو (٢.٩٧ : ٤.٢٣ وهي علاقة وزن الدينارة إلى وزن المثقال). يعلق في التجويف الأقرب إلى نقطة التعليق كفة لوزن الذهب، أما في التجويف الأبعد فتعلق كفة قياس الفضة. ولما كان عند نقل الكفة من احد التجويفين إلى الآخر يختل توازن الأوزان، فهناك وزن معين إذا أضيف يعيد التوازن من جديد. وكذلك هناك علاقة معينة بين الصنجات المتحركة حسب العلاقات التالية:

١٠ X=Y ، Y= Z٧٢ ، X، Y، Z تتوافق مع الصنجات الكبيرة والمتوسطة والصغيرة). ويتحدد وزن الصنجة الكبيرة عن طريق التجربة عند إعادة وضع التوازن للأوزان. وحاصل الوزن يحمل مباشرة على المقياس بالدينارات والمثقالات، ولا يحتاج إلى حسابات تكميلية أبداً.

كان التطور اللاحق لنظرية الوزن عند الاسفزار ي في بحثه " عن مركز الثقل والفن (تحضير) الأوزان للقياس " وكذلك وجد بحثه في كتاب "موازين الحكمة " ويقترح تصميم ميزان يمكن من خلاله الانتقال من نظام في الوزن إلى نظام آخر.

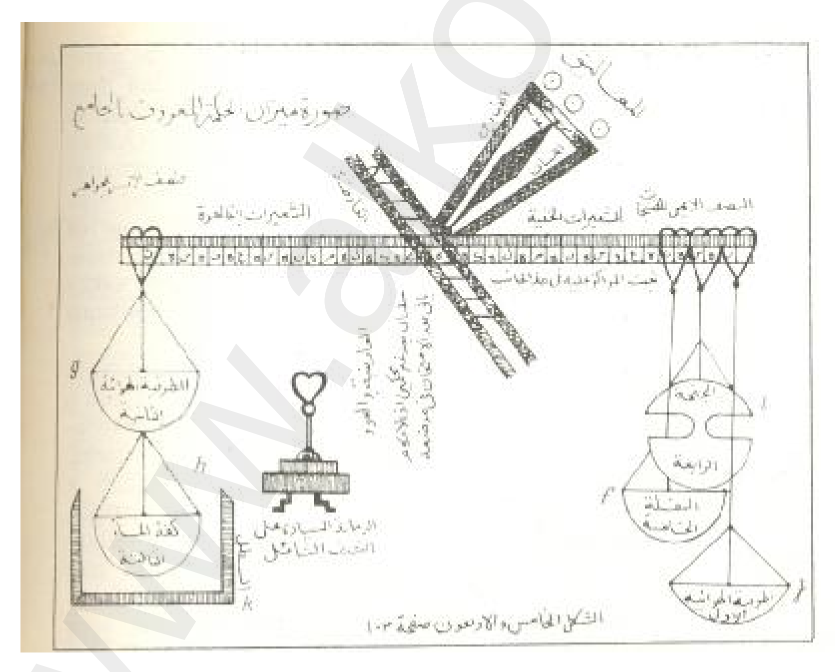
يتألف مبدأ تصميم ميزان الاسفزاري من الشكل التالي: نفرض أن هناك عاتق غير متساوي الذراعين وغير متوازن، معلق في نقطة ما، وعلق في نهاية الذراع القصير ثقل، نقسم ذراعه القصير إلى (N) من الأقسام المتساوية، وبنفس قيم هذه الأقسام نقسم ذراع العاتق الطويل. فإذا علق إلى الذراع الطويل ثقل يمكن أن يتحرك عليه، فان وزن هذا الثقل في الوحدات المختارة يعادل عدد التقسيمات على الذراع القصير، لذلك يعد توازن العاتق حسب قانون العتلة فان وزن الثقلP يساوي عدد التقسيمات على الذراع الطويل من نقطة تعليق العاتق وحتى نقطة وجود الجسم الموزون أي pn =mn من وحدات الوزن حيث أن: m – عدد التقسيمات على الذراع الطويل من نقطة تعليق العاتق وحتى النقطة التي يجب أن يوضع فيه الجسم المتحرك.

نفرض الآن أن هناك ذراع (عاتق) للوزن وثقل متحرك وصنجات متحركة. فقبل الوزن على هذا الميزان غير المتوازن لا بد من إعادة توازنها (تعييرها)، ويتم ذلك بطريقة تعليق ثقل معين إلى نهاية الذراع القصير، ويتم الوزن بسبب وزن السلاسل والكلابة (الخطاف) التي تثبت بمساعدتها الكفة على العاتق وستجعل توازن الميزان يختل. فمن اجل إعادة توازن الميزان "الرافع " لابد من تخفيض قيمة وزن الكفة والسلاسل والكلابة. والفرق الذي نحصل عليه يطلق عليه الاسفزاري " الرافع الإضافي " ويتطلب هذا إعادة تصحيح تدريجات الميزان. ولهذا لا يوضع عند الترقيمة الأولى رقم ١كما هو مفروض، وا إنما ١+ وزن " الرافع الإضافي ".

ولرفع درجة الدقة في ميزان الاسفزاري وضع مقياسان (ترقيمان) ، الترقيم الصغير ودرجة الشطبات، والمقياس الكبير ودرج بأجزاء بين الشطبات. وعند الوزن يوضع الثقل الموزون في كفة الميزان، ثم تحرك الصنجة حتى يتوازن الميزان، وقيمة الترقيم التي تتوقف عليها الصنجة تشير إلى وزن الجسم في الوحدات المتوافقة مع (الشطبات). والقصور في مثل هذه الموازين يتلخص في أن: هذه الموازين تشير إلى وزن الثقل من خلال وحدات محددة مختارة مسبقاً ، ولا يمكن القياس في وحدات أخرى، إلا بعد إعادة تدريج ترقيمات الميزان من جديد. ويمكن وزن الأثقال التي يزيد وزنها على ترقيمات مقياس الميزان وذلك بمضاعفة وزن الصنجات، وفي هذه الحالة

عند مضاعفة الوزن عدد من المرات فان قيمة الترقيمات يجب أن تضاعف بنفس العدد من المرات.

صمم الخازن ميزاناً أطلق عليه اسم " ميزان الحكمة " (شكل ٤) وهو ميزان متوازن الذراعين يتألف من عاتق وعارضة في الوسط، ولسان وعارضة مثبتة غير متحركة عمودية " على شكل مقص " وخمس كفات متساوية الحجم معلقة على العاتق. وصنع العاتق (الذراع) من معدن الحديد بطول يبلغ ٢ متر، وثبت مع العارضة المصنوعة من نفس المعدن. وثقبت العارضة على امتداد طولها بمجموعتين من الثقوب، وذلك من اجل تثبيتها مع العاتق في أي مسافة منها (شكل المقص). أما العاتق والعارضة واللسان فيشكلوا وحدة متكاملة. وقاعدة المقص هي أيضاً عارضة تعادل من حيث القيمة عرض العاتق وتعلق بشكل مواز له ومثبتة إلى العارضة الثابتة. وتستند العارضه على حافتين حادتين (سكين) من الأسفل، وتكون موازيه لعارضة العاتق، ويصنع فيها ثقوب متماثلة من حيث العدد وتوضع بشكل يتطابق مع الثقوب الموجودة على العاتق.



شكل – ٤ – ميزان الحكمة للخازن

مثل هذا التصميم ساعد الخازن في التقليل من درجة الاحتكاك في "ميزان الحكمة" عند تعليق الكلابة ورفع حساسية الميزان، وبالتالي دقته. والكفتان مصنوعتان على شكل أنصاف كرات معلقتان على نهايتي العاتق ومثبتتان فيه، ويطلق عليها الخازن اسم " الهوائيتان " وتستخدمان لمعرفة وزن الجسم الموزون في الهواء. والكفة الثالثة على شكل نصف كرة أيضاً ولكن تستخدم لوزن الجسم في الماء ويسميها الخازن " المائية " ونظراً لكون الكفة المائية تستخدم لوزن الجسم في الماء فهي مصممة على شكل صنبور مخروطي الشكل رأسه إلى أسفل لتسهيل دخوله في الماء بسرعة. تعلق " الكفة المائية " في الكلابة في أسفل إحدى الكفتين الهوائيتين الثابتتين، ويوضع تحتها وعاء فيه ماء حيث تغوص الكفة فيه أثناء عملية الوزن. أما الكفة الرابعة فهي متحركة " هوائية " يمكن أن تتحرك على طول العاتق، وتلعب هنا دور الصنجة المتحركة. ولكفة الخامسة فهي متحركة أيضاً "الكفة المجنحة " ولها شكل كما هو مبين في الشكل (٤). وقد أعطيت هذا الشكل المجنح من اجل إمكانية تحريكها إلى مسافة قريبة ، أي إلى أي " كفة هوائية " بحيث إذا عملت خيوط على هذه الكفات فان الكفة المجنحة يمكن أن تعلق على أقصر هذه الخيوط.

ونعود الآن إلى طرق الوزن على " ميزان الحكمة " الذي استخدمه الخازن. كما لاحظنا أن لهذا الميزان خمس كفات. فقبل عملية الوزن تتم موازنة هذه الكفات الخمس، ويتم ذلك بطريقتين: الطريقة الأولى بمساعدة الكفة الهوائية المتحركة أو بمساعدة أوزان مختلفة تتبدل على واحدة من الكفات الثابتة والتي لا تؤخذ بعين الاعتبار عند القيام بعملية الوزن. وفيما بعد تأتي أهم عملية، وهنا يمكن القول أن حقيقة ما فعله الخازن هو تطوير فعلي لطريقة الخيام.

وضعت إشارتان على عاتق ميزان الخيام: واحدة للذهب والثانية للفضة، أما نتيجة الوزن فيتم الحصول عليها من خلال تقسيمات المقياس التي تشير مباشرة إلى الوزن النوعي للنموذج المدروس. ويسير الخيام أكثر إلى الأمام فيقوم بترقيمه الخاص

على " ميزان الحكمة " والذي يتلخص بتحديد " المراكز " بالنسبة للمعادن والأحجار الكريمة، أي تحديدها بالعلامات أو تحزيزات على مقياس ذراع الميزان والتي تتوافق مع وزنها النوعي. ويتم وضع الترقيمات بطريقتين: إما بمساعدة غمر الكفة في الماء " في ماء المكان المعني " وإما بالطرق الحسابية " بالنسبة للمكان المعني " للقيمة التي حسبها البيروني بالنسبة للماء المأخوذ من نهر آمو داريا من منطقة جورجانية (اوغنتش) في خوارزم " ويحدد الخازن موضع هذه المراكز على ذراع الميزان بالنسبة للمعادن وبالتسلسل المنتظم لتناقص الوزن النوعي،

١- الذهب ٢- الزئبق ٣- الرصاص ٤- الفضة ٥ – البرونز ٦- النحاس ٧- الحديد ٨-القصدير، وكذلك بالنسبة للفلزات وبنفس الأسلوب:

١-الياقوت الرمادي ٢- الياقوت الأحمر ٣- الشبينيل ٤- الزمرد ٥- حجر اللازورد ٦- اللؤلؤ ٧- العقيق ٨- الكريستال الجبلي ٩- الزجاج

ويشير هنا إلى أن هذه المعطيات لا تتوافق إلا مع الماء الذي تمت المراقبة فيه أو الماء القريب من حيث النوع والوزن النوعي.

وبعد أن توازن الميزان ووضعت "المراكز" ينتقل الخازن إلى شرح مراحل عملية الوزن الفعلي. ويقول أن عدد هذه المراحل كبير جداً، وسيقوم بشرح عدد قليل من المراحل فقط:

المرحلة الأولى توضع الكفة المتحركة في "المركز" لتلك المادة التي تم تحضير النموذج الأولي منها. ثم يقوم بوزن النموذج في الهواء، ويتم ذلك بواسطة الكفتين الهوائيتين الثابتتين: يوضع النموذج في إحداهما، وتوضع الصنجات في الثانية، ثم يقوم بتحديد وزن النموذج في الماء، وذلك بوضع النموذج في الكفة المائية وغمره بشكل كامل في الماء، بحيث يشغل الماء كافة التجاديف والثقوب والمساحات الموجودة فيه، ثم تنقل الصنجات من الكفة الهوائية الثابتة إلى الكفة المتحركة المعلقة في " المركز "للمادة المعنية. فإذا توازن الميزان فمعنى ذلك أن النموذج نقي، أي هو المادة أو الفلز المتوقع. وإذا اختل توازن الميزان، عندها تنقل كفة الميزان المتحركة إلى المركز " المحدد للمادة الأخرى المفترضة أن تكون المادة الأصلية مغشوشة بها،

وعلى سبيل المثال تنقل من "مركز" الذهب إلى "مركزّ الفضة. وا ٕذا لم يحدث التوازن أيضاً فمعنى ذلك أن الحجر إذا كان معدني فهو خليطة، وا ٕذا كان من الأحجار الكريمة فهو مزيف.

بهذه الطريقة إذا أجريت كامل السلسلة من الفلزات والمعادن الموضوعة من قبل الخازن وحصل توازن الموازين، ففي هذه اللحظة تشير الإشارة الموجودة على الذراع إلى الوزن النوعي للجسم الموزون مباشرة ، وبشكل خاص إلى المادة التي يتركب منها. وبتحريك إحدى الكفتين المتحركتين المحملة بأوزان مختلفة على امتداد المقاييس " المراكز " يمكن تحديد تركيب الخليطة. وقد توقف الخازن عند مسالة هامة وهي هل من الممكن بطريقة الوزن على " ميزان الحكمة " تحديد تركيب خليطة مؤلفة من ثلاثة عناصر أو أكثر؟ (أو عنصرين إذا كان النموذج يحتوي على تجويف وحسب إشارة الخازن أن هذا التجويف هو فراغ مملوء بمادة أخرى)، وقد أجاب على هذا السؤال بالنفي.

المادة المتجانسة والخليطة المؤلفة من عنصرين واللتان تتطابقان بوضع واحد لكفة الميزان (المادة والخليطة)، ففي هذه الحالة تحتفظان بحالة التوازن. والتوازن الذي يتوافق مع مثل هذه الحالات له حل وحيد. بالنسبة للخليطة المؤلفة من ثلاثة عناصر يمكن اختيار قيم لا نهائية من الأوزان للعناصر الثلاثة ومسافة لكفات الميزان على ذراع الميزان التي تحتفظ فيها بوضع التوازن. " مثل هذا النقل كما يقول الخازن الذي لا يختل به التوازن يمكن أن يستمر إلى اللانهاية " ويتطابق ذلك مع حالة التوازن غير المحدود الذي يكون له عدد لا نهائي من الحلول.

يصنف هذا النظام من الوزن تحت النموذج الذي تستخدم فيه كفة هوائية متحركة واحدة، تضاف إليها صنجات مختلفة الوزن. ولكن يمكن أن تستخدم كفتان متحركتان أيضاً هما الكفة العادية و " الكفة المجنحة " وتضاف الصنجات إلى كلا الكفتين، وتستخدم هذه المنظومة في مجموعة أخرى من الموازين. وعلى هذا الأساس فان الخازن يحل المسألة من خلال عدد قليل من الصنجات الضرورية لوزن الثقل

المطلوب. وعرف هذه المسألة بمسألة الوزن، والتي عرفت فيما بعد في أوربا. وقد خصص لهذه المسألة (مسألة الوزن) فصل خاص في كتابه " موازين الحكمة.

استخدم الخازن في البداية ما كان متعارف عليه، وهو طريقة اختيار أوزان مختلفة لأجل الوزن الذي ينطلق فيه (كما يقول الخازن) من التتابع "الطبيعي" لفئات الأعداد العشرية. وينتخب من كل فئة ثلاثة أعداد:

من فئة الآحاد ١، ٢، ٥ ومن فئة العشرات ١٠، ٢٠، ٥٠ ومن فئة المئات ١٠٠، ٢٠٠، ٥٠٠ .

وبهذا الشكل يكون الاختيار المتعارف عليه مؤلف من ٩ صنجات (ثلاثة من كل فئة) ويكون وزنها العام ٨٨٨ وحدة وزنية. وبمساعدة هذه التشكيلة يمكن وزن أي ثقل لا يزيد وزنه على ٨٨٨ وحدة وزن.

هذه القاعدة صحيحة بشكل كامل إذا استخدم في الوزن كفتين. أما إذا استخدمت كفة واحدة عندها فان بعض الأوزان التي يدخل وزنها بتتابع ١، ٢........، ٨٨٨ لا يمكن وزنها في هذه التشكيلة. ويبين الخازن أن هذا النموذج يمكن أن يوزن به ثقل بأربع وحدات للوزن مثل ٢+١+١=٢+٢=٤، إذا استخدم الوزن بنموذج واحد من الصنجات وكفة واحدة من كفتي الميزان ، ويمكن وزن جميع الأوزان من ١ –٨٨٨ وحدة وزن، وبوزنة واحدة، على سبيل المثال (٥+١=٦، ١+٢+٥=٨،...)،

باستثناء الأثقال ٤ و ٩ بالنسبة للوحدات الموزونة في العشرة الأولى ، ١٤، ١٩ بالنسبة للعشرة الثانية، ٢٤،٢٩ بالنسبة للثالثة ١٠٩،١٠٤ بالنسبة للمئة الأولى وهكذا بالنسبة لجميع الأرقام المتتالية حتى ٨٨٨. أما بالنسبة لوزن هذه الأثقال الواقعة تحت قاعدة الاستثناء (أي ٤، ٩، ١٤، ١٩،.....) فيجري عند وزنها استخدام نموذجين من الصنجات وهي ثمانية عشرة صنجة ٨٨٨ ×٢= ١٧٧٦.

ولكن ينشأ هنا عدم ارتياح آخر: وهو أن أحد الأثقال كما يقول الخازن يمكن أن توزن بطرق كثيرة ، على سبيل المثال ثقل الأوزان التي يبلغ وزنها ٣ دراهم[١] يمكن أن يوزن بأربع طرق ١+٢= ٣ ، ٥-٢= ٣ ، ١٠-٥-٢=٣، ٢٠-١٠-٥-٢=٣ .

بهذا الشكل فان طريقة الوزن بمساعدة مجموعة من الصنجات المختارة " ضمن نظام متعارف عليه " فيها حسب رأي الخازن قصورين أساسيين "القصور الأول إذا استخدم عند إجراء عملية الوزن كفة واحدة فقط من كفتي الميزان، عند ذلك تختار الصنجات بشكل وحيد، وهنا لا بد من توفر نموذجين، والقصور الثاني إذا وزن الثقل بواسطة كفتين عندها فان نموذج واحد من الصنجات كاف، ولكن طريقة الاختيار ليست ذات قيمة واحدة، وهذا يعقد تقنية الوزن. وللخروج من هذه المعضلة، اقترح الخازن طريقتين جديدتين من حيث المبدأ (حسب قوله) في اختيار الصنجات.

يقول الخازن " إذا أردنا اختيار الصنجات بما يتوافق مع النظام الطبيعي للأعداد ووضعها (عند الوزن) بدون معادلتها بالصنجات في الكفة الثابتة لا بد (نظامها) أن يختار من الصنجات بما يتوافق مع مضاعفة القيم. ونختار (الصنجات من حيث الوزن) الأولى تساوي ١، الثانية ٢، الثالثة ٤، الرابعة ٨ ، الخامسة ١٦، السادسة ٣٢، السابعة ٦٤ ، الثامنة ١٢٨ ، التاسعة ٢٥٦، العاشرة ٥١٢، وعدد اكبر من الصنجات في التشكيلة المختارة...وا ٕذا أردنا استخدام عدد أقل من (عدد الصنجات) فيمكن الوصول إلى ذلك بطريقة المقابلة[٢] (وتعاقب) الصنجات (في هذا الطقم) الذي نختاره والناتج عن الوحدات. ثم نضربه بـ ٣ وهكذا. عندها فان الصنجة الأولى (من حيث الوزن) تعادل ١ والثانية ٣ والثالثة ٩ والرابعة ٢٧ والخامسة ٨١ والسادسة ٢٤٣ والسابعة ٧٢٩ وعدد هذه الصنجات أقل بمرتين من عدد الصنجات في الطقم المتعارف عليه ". وبهذا الشكل يكون في الحالة الأولى أي عندما

---

(١) ١ درهم يساوي ٢٣ر٤ غ.

(٢) إضافة وزن ما في الكفة الثانية من اجل عملية التوازن.

تضاف الصنجات إلى كفة واحدة من الميزان كان طقم الصنجات ٩ صنجات فان المقترح أن يكون ١٠ صنجات.

ولكن الانتقاء الآن بحيث يكون التزايد ضمن نظام محدد على شكل متوالية هندسية بحيث يكون العنصر الأول ١ ومقامه (مخرج)٢، ورغم أن عدد الصنجات في هذا الطقم أكثر بوحدة واحدة عن المتعارف عليه، فبمساعدته يمكن وزن ثقل يبلغ ١٠٢٣ وحدة وزنية (١٠٢٣ هي مجموع العناصر العشرية الأولى لهذه المتوالية)، وعندها تنتهي الحاجة إلى زوج من الأطقم. وفي الحالة الثانية، أي عندما تضاف الصنجات إلى كفتي الميزان " الزيادة " أكبر.

ويتكون دائماً من سبع صنجات (أقل باثنتين من الطقم المتعارف عليه، وأقل بثلاث صنجات من الحالة الأولى)، وتختار الصنجات بحيث يتزايد وزنها بانتظام وعلى شكل متوالية هندسية مع العنصر الأول والمخرج ٣.

ويكون العدد ١٠٩٣ هو مجموع العناصر السبعة الأولى لهذه المتوالية. وبواسطة هذه الصنجات السبعة ووضعها على كفتي الميزان يمكن وزن ثقل يبلغ ١٠٩٣ وحدة وزنية. والفائدة في مثل هذه الحالة تكون مضاعفة: تناقص عدد الصنجات، وحد أعظمي للثقل الذي يمكن أن يوزن بواسطة هذه الصنجات السبعة.

وهكذا صاغ الخازن المسألة باختصار على الشكل التالي: في الحالة الأولى نحتاج إلى ٩ صنجات يمكن بواسطتها وزن ثقل حتى ١٠٢٣ وحدة وزنية ضمن الشروط التي توضع فيها الصنجات في كفة واحدة من الميزان، وفي الحالة الثانية تتغير المسألة بعض الشيء، ونحتاج إلى سبع صنجات يمكن بمساعدتها وزن الثقل الذي يصل وزنه إلى ١٠٩٣ وحدة وزنية ضمن شروط وضع الصنجات في كفتي الميزان. ويمكن القول باختصار أن المسألة تعود في كلا الحالتين إلى إيجاد أقل عدد ممكن من الصنجات يمكن بواسطتها وزن اكبر وزن ممكن من الثقل.

إن المغذى الرياضي لهذه المسألة واضح جداً ، فإذا كان في الحالة الأولى الثقل p فتكون المسالة على الشكل التالي:

$$P = ao + a_1 p_1 + a_2 p_2 + \ldots + a9\, p9 \; (\Sigma_{1=0}^{9} ai\, pi \leq i\ 1023)$$

حيث أن pi تتوافق مع ٢،١،٢^٢،.... أما ai = صفر أي وحدة، عندها حل الخازن التكافؤ للعدد p في منظومة مزدوجة للأعداد.

وهناك شكل مشابه في الحالة الثانية إذا كان الثقل p على الشكل التالي:

$$P = ao + a_1 p_1 + \ldots + a6\, p6 \; (\Sigma_{1=0}^{6} ai\, pi \leq 1093)$$

حيث أن: pi تتوافق مع ١، ٢، ٣،...، ٣، أما ai فيمكن أن تستخدم فقط للقيم –١، ٠، +١ وحل الخازن التكافؤ بعلاقة العدد مع المنظومة الثلاثية للعدد(١).

وبكلمات مختصرة فان كلا حالتي المسألة عند الخازن يمكن أن ينظر إليهما كحالات جزئية من مسألة تحديد العدد الصحيح على شكل مجموع أو تفاضل الدرجات المختلفة للعدد الصحيح (العدد المضاف إلى n في الحالة الأولى والتي تبلغ ١٠ وفي الحالة الثانية تبلغ ٧).

من المعروف أن مسالة الوزن كانت متواضعة إلى حد كبير في أوربا في العصر الوسيط، وأول ما شوهدت في القرن الثامن في كتاب "أباك" لـ ليوناردوبيزانسكي(٢) الذي يصفها كما يلي: يتطلب اختيار أربع صنجات، وبمساعدة هذه الصنجات يمكن وزن الثقل الذي يصل وزنه إلى ٤٠ وحدة وزنية ضمن الشروط التي تضاف فيها الصنجات إلى كفتي الميزان. وصنجات ليوناردو وهي ١، ٣، ٩، ٢٧ أي أن مسألته تتوافق مع الحالة الثانية لمسالة الخازن.

بالنسبة إلى n=٤.

استطاع ليوناردو بيزانسكي أن يتعرف على بعض المسائل أثناء رحلاته إلى الشرق، وكذلك من خلال دراسته للمؤلفات الرياضية المكتوبة باللغة العربية التي كانت كما يقول ليوناردو مرحلة ضرورية لكتابة كتابه " أباك ". وعلى الأخص أن

---

(١) تختلف هذه الطريقة عن الطريقة المستخدمة في الوقت الحاضر للمنظومة الثلاثية في الحساب فقط، وهو انه بدلا من الأعداد ٠، ١، ٢ استخدمت فيها –١،٠، +١ ومن ملاحظة علاقة الخازن يمكن بواسطة تحويل بسيط أن تؤدي إلى الطريقة المعاصرة.

(٢) معروف أكثر تحت اسم فيبوناتشي، أي ابن بوناتشي.

هذه المسألة تدخل في الفصل الثاني عشر من " الكتاب " الذي يحتوي على عدد كبير من المسائل المختلفة، وبعض هذه المسائل له منشأ شرقي تحديداً، وخاصة المسالة التقليدية عن الدرجات السبعة، التي تصادف في أدبيات مصر القديمة. وهناك وجهة نظر تقول أن المسألة المصرية القديمة دخلت المؤلفات الرياضية العربية (بشكل مباشر أو غير مباشر) عبر المؤلفات القديمة، ومنها وصلت إلى كتاب أباك.

من المشكوك فيه أن يكون من بين مصادر ليوناردو بيزانسكي كتاب "موازين الحكمة" وذلك لان ليوناردو ينظر إلى حالة واحدة فقط من مسائل الخازن وهي أن n=٤ ، وكذلك ما يؤيد هذا الافتراض أن كتاب الخازن لم يكن معروف في أوربا في العصر الوسيط، ولم يتعرف عليه هناك إلا في القرن التاسع عشر فقط. واستطاع ليوناردو أن يتعرف على مسألة الوزن من خلال مقالات وكتابات المؤلفين الآخرين، ومن الممكن أن يكون قد تم ذلك من خلال التعرف على الموازين والتطبيقات العملية للوزن من خلال أعماله التجارية في الشرق. وقد خطا ليوناردو خطوة في حل مسالة الوزن. فقد قال: نفرض أنه يتطلب منا وزن ثقل اكبر من ٤٠ وحدة وزن. عندها يجب أخذ خمس صنجات وزن ٨١=٣ وهذا يمكن من وز ن ثقل يبلغ وزنه ١٢١ وحدة وزن وهكذا إلى اللانهاية (ad infinitum).

بهذا الشكل يصيغ ليوناردو بشكل حقيقي الحالة الثانية عند الخازن من اجل أي n.

وفي بحث لـ ايوردان نموراريا الذي عاصر ليوناردو بيزانسكي حيث "شرح ايوردان عن الكوريوم" المبنية على أساس العمليات الحسابية للأعداد الصحيحة، التي تكتب معادلتها في الوقت الحاضر على الشكل التالي:

$$٩+٩\times١٠+٩\times١٠^{٢}+.....+٩\times١٠^{n-1}<10^{n}$$

ويمكن أن تفسر هذه العلاقة كيف تسجل حالة المسألة في الوزن، والتصور المكافئ للرقم المعطى في المنظومة العشرية للتعداد[١]. ومسألة الوزن الموجودة بهذا الشكل عند ليوناردو موجودة عند الرياضي الايطالي لوكي باتشولي في القرن الخامس عشر. وتكررت عند الكثير من المؤلفين حتى ايلر.

وبالعودة إلى تاريخ الرياضيات في الشرق فانه إضافة إلى كتاب " موازين الحكمة " والمسألة حول الوزن لم يكتشف في أي من مصادر الرياضيات حل قريب من عمل الخازن، ويمكن أن نشاهد في التطبيق العملي فقط ضرب الأعداد الصحيحة في الرياضيات المصرية، واستخدامها يؤدي إلى احد الشكوك حول مجموع الأشكال المجموعة (للشكل ٢).

ومعروف في تاريخ العلوم وبشكل جيد الدور الذي لعبته الرياضيات المصرية في نشوء الرياضيات في الشرق، حيث استخدمت وحتى فترة طويلة عملية مضاعفة الأعداد والانشطار (التفريغ) في العمليات الحسابية.

في الحقيقة أن هذا الكلام ليس في صالح الدرجة ٣، ومن جانب آخر فنحن لا نعرف عن هذا الجانب إلا القليل. ومن الممكن أن يأتي ضوء ما ينير تاريخ ومنشأ مسألة الوزن التي يمكن أن تصب في دراسة علم القياس لعلم الآثار (على سبيل المثال وجود صنجات مختلفة الوزن بين اللقا الأثرية)[١]. وكذلك المخطوطات إذا كان ينظر إلى الأبحاث عن الموازين والمقاييس من وجهة النظر هذه في أيامنا.

من الطبيعي أن جميع الكتابات لا تعني أن الخازن وضع أمامه مسالة حول تصور العدد الصحيح في المنظومات الثنائية والثلاثية، وذلك لان التكافؤ الرياضي

---

(١) يجب الأخذ بعين الاعتبار أن نموراريا خلافا عن ليوناردو بيزانسكي انصرف عن المحتوى الدقيق للمسائل وكقاعدة يطرح جانب فرضية الحساب التجاري والهندسة وغيرها.

(١)من المعروف أن عدداً كبيراً من الصنجات المختلفة الوزن اكتشف أثناء الأبحاث الأثرية في منطقة ما بين النهرين.

للمسائل لا تعني تكافؤها التاريخي. وكانت هذه المسألة مسالة علم التوازن التطبيقي الذي أدى إلى بعض المسائل الرياضية.

علم الحيل – الآلات، الآلية، الأجهزة:

دخلت نظرية الآلات البسيطة وتطبيقاتها وتصاميمها في مجال علم الحيل، كما ذكرنا سابقاً، هذا العلم الذي توافق مع المفهوم والتقليد القديمين، حيث اعتبر نوعاً من الميكانيكية الخاصة بالمعنى الضيق للكلمة. وصنف كفرع مستقل من الفروع العلمية، أما أساسه النظري فقد استمر على مدى فترة طويلة مقتصراً على الترجمة العربية دون أن يترجم إلى لغة أخرى، كما هو الحال في كتاب " المسائل الميكانيكية"، والميكانيك وغيرها من الكتابات الميكانيكية لهيرون. ومن أقدم المصادر المكتوبة باللغة العربية والتي تتحدث عن علم الحيل هي الموسوعة العلمية في (القرن التاسع) والمسماة " مفاتيح العلوم " لأبي عبد الله الخوارزمي.

ترجمت هذه الموسوعة إلى اللغة اللاتينية وعرفت في أوربا في العصر الوسيط. وتتألف الموسوعة (مفاتيح العلوم) من بابين، خصص فصل كامل منهما لعلم الحيل، ويدخل في الباب الثاني علم الفلسفة والمنطق والطب والحساب والهندسة والفلك والموسيقى والكيمياء. ويتألف فصل علم الحيل ذاته من قسمين، يتعرض القسم الأول منه لشرح الآلات التي تساعد على تحريك ثقل كبير باستخدام هذه الآلات عملياً. وهناك شرح لمعظم هذه الآلات في كتاب " الميكانيك " لهيرون.

ومن بين الآلات البسيطة التي يذكرها في " مفاتيح العلوم " البارطيس أو العجل المرتكز على محور، والمخل، وهو محور اسطواني الشكل يستخدم كعتلة من الدرجة الأولى، وأبو محليجون هو عتلة من الدرجة الثانية، والإسفين، ثم يقوم بتعداد الآلات الحربية مثل الطاران " الخنزيرة " والمنجنيق.

ويتضمن القسم الثاني شرح للأجهزة المعقدة التي تستخدم في عملية تحويل حركة المياه، والآلات التي تعمل بواسطة أجهزة الضغط كالعجلة المائية وطواحين الماء وطواحين الهواء، وكذلك أجهزة التسلية مثل الوعاء السحري وغيرها. ويعتمد

المضمون الأساسي لهذا الفصل على عمل هيرون عن الآلات، كما يحتوي على بعض المعلومات عن أجهزة الضغط لـ فيلون البيزنطي.

كما يحتل كتاب " المسائل الميكانيكية " و" الميكانيك " لهيرون قسماً أساسياً من الفصول الميكانيكية من " كتاب المعرفة " لابن سينا وبحثه " مقياس الذكاء " والمخصص بشكل رئيسي لشرح الآلات وتأثير الآلات الخمسة وتركيبها.

يتألف بحث ابن سينا من خمسة فصول:

١. الفصل الأول عن " تسميات الآلات البسيطة في الميكانيك ".
٢. الفصل الثاني " عن تحديد الآلات البسيطة " .
٣. الفصل الثالث " عن تحضير الآلات البسيطة للعمل من اجل رفع الأثقال ".
٤. الفصل الرابع " توحيد الآلات البسيطة بين بعضها البعض ".
٥. الفصل الأخير حول تحديد الكمية المطلوبة من المواد التي تتجهز منها الآلات البسيطة. كما وضعت الشروط التي تساعد على حفظ هذه الآلات واستمرارها فترة أطول.

يبدأ ابن سينا بحثه بالكلمات التالية " حتى يرتفع إلى الأعلى جسم من الأجسام الثقيلة، ومن خلال قوة رفع بسيطة، وحتى نلوي الأجسام الصلبة ونكسرها.. هناك آلية من خلال الآلات البسيطة. ولهذه الآلات خمسة أشكال: الخنزيرة أو الدولاب، العتلة، البكرة، اللولب، الإسفين (الخابور) ". ويتعرض هيرون في " المسائل الميكانيكية " إلى العتلة، والإسفين، والبكرة فقط، كما تعرض لنظرية تأثير هم (فعاليتهم). أما دارة اللف (الدولاب) واللولب فتظهران فقط عند هيرون.

يعطي ابن سينا في الفصل الثاني من البحث وبشكل متسلسل وصفاً لكل واحدة من هذه الآلات الخمس، وأرفق شرحه بمخططات لهذه الآلات. كما أوضح طريقة عملها مع ذكر مثال أو أكثر بطريقة حسابية تتوافق مع آلية العمل.

أما القسم الثالث المكتوب عن " تحضير الآلات البسيطة للعمل من أجل رفع الأثقال " فيتألف من ثلاثة أقسام يشرح فيها تقنية تحضير البكرة مع تحديد قطر كل من العمود والقرص، ووضع نظام عمل البكرات في رفع الأثقال، ولكلا النوعين من البكرات المتحركة والثابتة والآلة المكونة من عدة بكرات (مبكرة).

وفي الفصل الرابع يتعرض لمسألة " توحيد الآلات فيما بينها " وينظر إليها كمركب مؤلف من دارة اللف (الدولاب) مع البكرة، ودارة اللف مع العتلة، ودارة اللف مع اللولب، وبين الآلية المتشكلة من خلال توحيد دارة اللف مع اللولب، والبكرة، والعتلة. وشرح قاعدة التأثير في هذا المركب.

وحسبت كمية الربح (التوفير) في القوة لكل حالة من الحالات السابقة، وقد حسبت كمية التوفير في القوة من خلال أمثلة رقمية محددة[١]. ومن خلال المقارنة بين بحث ابن سينا وبين كتاب "المسائل الميكانيكية" وكتاب "الميكانيك" لهيرون يتبين أن بحث ابن سينا كتب على النهج التقليدي القديم، وكانت معالجة المصادر القديمة على شكل مجموعة من القواعد والمعالجات من اجل الاستخدام المباشر في أهداف تطبيقية. ولهذا فان جميع القواعد المحددة مدعمة بمخططات تفصيلية. وأدخل ابن سينا شيئاً جديداً إلى العلوم، هو التوحيد بين الآلات البسيطة كالتوحيد بين دارة اللف والبكرة، ودارة اللف والعتلة. ومثل هذا العمل لم يكن موجوداً في مؤلفات هيرون.

والآلة المعقدة (الأدوات الآلية) التي تحتل قسماً كبيراً من كتاب " الميكانيك " للإخوة أبناء موسى بن شاكر، تعتمد بشكل أساسي على كتاب " الأدوات الآلية " لهيرون وعلى كتاب " الآلات التي تعمل على ضغط الهواء " لفليون، وحفظ هذا

---

(١) إن مبدأ الآلات التي شرحها ابن سينا يعتمد في كثير من تصميماته على النماذج التي كانت موجودة في آسيا الوسطى حتى وقت قريب من عصر ابن سينا. على سبيل المثال الجوفور، والاسيا والهالاج وهي آلات لصنع الزيت والدقيق والقطن، إضافة إلى آلة التشفير التي تستخدم في رفع المياه وغيرها.

الكتاب على شكل مخطوطات، أهم مخطوطين منها وأكثرها اكتمالاً محفوظة الآن في الفاتيكان وبرلين. ويقدم في الكتاب مخطط للأدوات موضوع البحث ويعطى شرحاً مفصلاً عن طريقة تصميمها.

وقد تأثرت الكتابات التي كتبها الجزيري (المولود في الجزيرة في بلاد ما بين النهرين) بهذه المقالات تأثراً مباشراً. حيث قدم كتاباً اسمه " الكتاب الذي يوحد بين العلم والتطبيق في فن الميكانيك " وكتاب الجزيري هذا عرف وعلى نطاق واسع في الشرق في العصر الوسيط. ووصل إلينا من خلال المخطوطات المحفوظة في كل من اوكسفورد وليدن واستانبول وغيرها من المدن. كما توجد إحدى مخطوطات كتاب الجزيري في مكتبة لينيغراد الوطنية المعروفة تحت اسم مكتبة م.ي سالتيكوفا – شيدرينا.

يتألف الكتاب من ستة فصول يحتوي كل منها على عدة أقسام مع شرح للأدوات الآلية، وبشكل أساسي الأدوات الآلية التي تعمل على ضغط الهواء.

ففي الفصل الأول وصف للساعات المائية (كليبسيدر) والآلات الأكثر تعقيداً، والتي تحدد الزمن على أساس مراحل ضوئية خاصة. وصمم بعض هذه الأدوات على هيئة أشخاص أو حيوانات تتحرك مشيرة إلى التوقيت تحت تأثير قوة الماء الذي ينصب من وعاء خاص.

وفي الفصلين الثاني والثالث يتصدى المؤلف إلى طريقة تصميم الأوعية التي ينصب منها الماء الحار والماء البار د والماء المختلط، وقد صمم الوعاء على هيئة طير يعطي صغيراً لحظة خروج الماء منه، ثم يقدم وصفاً للوعاء الخادم الذي يقوم بسكب الماء على يدي صاحبه، والإبريق المصنع على شكل طاووس، يقذف الماء من منقاره، وكذلك يصف مجموعة الأوعية المستخدمة في الحجامة، والتي تقوم بقياس كمية الدم النازف وغيرها من الأوعية.

وفي الفصل الرابع يشرح تصميم النوافير المائية التي تغير من شكلها باستمرار وتعطي أثناء ذلك صوتاً موسيقياً يشبه صوت المزمار.

وفي الفصل الخامس بحث مخصص في وصف الأجهزة التي ترفع الماء من قاع الآبار العميقة، والأجهزة التي ترفع الماء لري المشاريع الزراعية، وقد صمم بعضها على مبدأ الأوعية المتنقلة (المتحركة).

وفي الفصل السادس شرح للأجهزة "الهندسية المعقدة" وغيرها من الأجهزة والأدوات التي تساعد في القياسات المساحية.

ونورد هنا على سبيل المثال وصفاً لأحد الأجهزة الآلية للجزيري (شكل ٥) يستخدم هذا الجهاز من اجل الاغتسال وله صنبور على شكل رأس طير. ومع تغريد الطير (صفير) يتدفق الماء بقوة من الوعاء. ويعتمد مبدأ العمل لهذا الوعاء على الشكل التالي: لحمت في صنبور الوعاء أنبوبة معقوفة إحدى الميكانيك والفلك م-٩ الوعاء،أما في عنقه فتوجد عوامة (غمازة) تحدد حركة الأنبوبة بالحاجزين S, و f.



شكل -٥- وعاء الجزيري الآلي من أجل الاغتسال وله صنبور على شكل رأس طير

وهناك سلسلة من الأبحاث والفصول في كتابات العلماء في العصر الوسيط خصصت لوصف الأجهزة المستخدمة في قياس المناسيب والأعمال الطبغرافية.

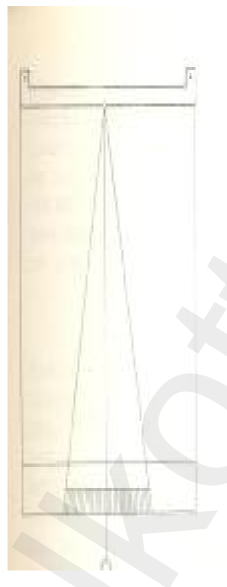
وتحدد التطور الخاص لهذا الاتجاه من خلال المتطلبات الملحة لمشاريع الري والطرق والهندسية المعمارية. وكذلك لقيت الأعمال المتعلقة بتامين المصادر المائية أهمية خاصة، إضافة إلى بناء المشاريع المائية الارتوازية وغيرها.

وتوجد المعلومات عن أعمال المناسيب والأعمال الطبغرافية في أعمال العلماء الموسوعيين والمؤرخين في العصر الوسيط في الشرق أمثال البيروني والإدريسي والقز ويني وابن بطوطة. إن الأجهزة المساحية (تتوافق مع تعديل الموازين) التي وضعها الخازن في كتابه " موازين الحكمة " والكراجي (توفي ١٠٣٠ميلادي) الذي يعد واحداً من أكبر رياضيي ذلك العصر. والمعروف بقطعته الشعرية " عن فن المناسيب من أجل تسهيل عملية جريان المياه " الموجهة إلى ابن لوجون (القرن العاشر). وهنا سنقف عند بحث الكراجي "استخراج المياه الباطنية"، هذا البحث كتب في عام ١٠١٧، وعملياً هو الكتاب الوحيد الذي وصل إلينا في هذا المجال، وهو على شكل مخطوط محفوظ في مكتبة بانكيبور في الهند.

يتصدى هذا البحث إلى موضوع منشأ المياه الجوفية، والشروط الملائمة من اجل عمل المجاري المائية السطحية والضمنية، ومسألة المحافظة عليها وا بقاءها صالحة للعمل، وتجديد المجاري المردومة وغيرها. وقد أولى اهتماماً خاصاً للطرق الرياضية التي استخدمت في الأعمال الطبغرافية والمساحة.

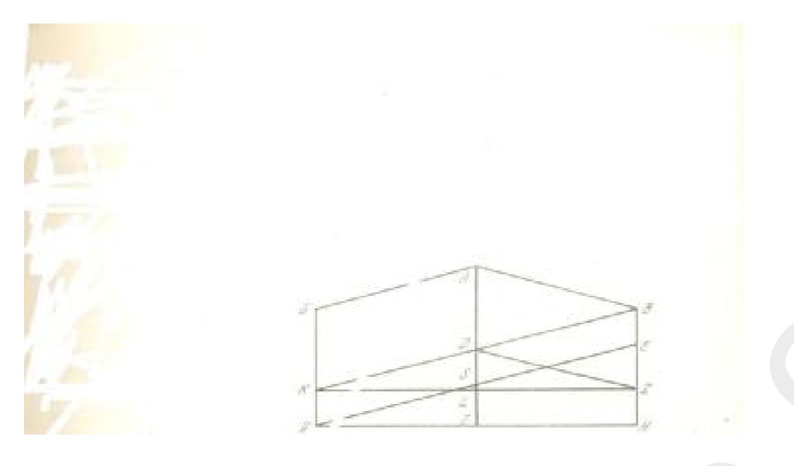
وكذلك وصف مختلف الأجهزة وبعضها كان من تصميم الكاراجي نفسه. وا ضافة إلى المطمار التقليدي يصف الكاراجي جهازاً مصمماً من النحاس على شكل مثلث متساوي الساقين له آذان عند قاعدته. ويدخل حبل من خلال الآذان حيث يشد حلقتين. وعلى امتداد خط ارتفاع المثلث يثقب عند القاعدة ويدخل فيه خيط طوله أطول قليلاً من طول ارتفاع المثلث، ويعلق إلى نهاية هذا الخيط ثقل رصاصي. وعندما يمر الخيط والثقل من رأس المثلث يكون الحبل المار من آذان المثلث في الوضع الأفقي تماماً .ويعد شرح تركيب الأجهزة الطبغرافية في كتاب الكاراجي إضافة إلى شرح الأجهزة والطرق المستخدمة في تحديد المسافات بين مكان وضع الجهاز وبين النقاط التي يصعب الوصول إليها (مثل قمم الجبال وأعماق الآبار وغيرها) من أهم أقسام الكتاب. ومن أهم الأجهزة الطبوغر افية للكاراجي (إضافة إلى تعديل

المطمار) جهاز إدخال المثلث المتساوي الساقين في إطار المثلث القائم (شكل ٦). ففي رأس المثلث الواقع على القاعدة العليا للإطار تعلق سلسلة مع ثقل. وتثبت على قاعدة المثلث شريحة خشبية مقسمة إلى ١٦قسماً متساوياً. لا تشير التدريجة إلى المستوى الأفقي والمستوي الشاقولي فحسب وا ٕنما تبين درجة الميلان عن المستويين الأفقي والشاقولي. ويبين الكاراجي انه يمكن رفع درجة الدقة لهذا الجهاز إذا غيرت الشريحة الخشبية الموجودة على قاعدة المثلث بقرص دائري مدرج.



شكل –٦ جهاز التسوية المساحية على شكل مثلث متساوي الساقين للكاراجي

ويشرح الكاراجي أيضاً جهازاً آخر: وهو الإطار المربع المعدني أو الحلقة المشدود بداخلها خيطين يشكلان قطران متعامدان ويثبت في مركزها أنبوبة نحاسية مجوفة (اليداد) مع ديوبترين اثنين (شكل ٧)، وبمساعدة هذا الآلة يمكن القيام بمجموعة طرائق مساحية. وعمل هذه الآلة على الشكل التالي:



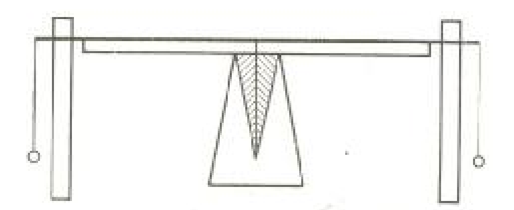
شكل -٧- مخطط تسوية مساحية بمساعدة جهاز التسوية للكاراجي

نفرض أن المطلوب هو معرفة فرق الارتفاع بين النقطتين Y،E والمسافة بينهما EY، أي المسافة EH، فإذا افترضنا أن الخط YH هو أفقي و BE هي المسافة من النقطة E وحتى مركز الحلقة، أي نصف قطرها العمودي. وبمساعدة الاليداد نسدد بالاتجاه AB. حيث أن KY هي المسافة المماثلة. فإذا سددنا من النقطة Y باتجاه KDB. فان المسافةAD المحسوبة بمساعدة الجهاز تعطي القيمة المطلوبة. وهكذا يقدم الكاراجي برهانه الهندسي لطريقته. ثم يقدم فيما بعد عدة طرائق لتحديد ارتفاع الأبنية وقمم الجبال وحساب بعدها بالنسبة للاماكن التي لايمكن الوصول إليها، وذلك باستخدام أجهزة مشابهة للجهاز السابق. وتمكن هذه الآلة المكونة من مثلثين قائمي الزاوية ومشتركين بضلع واحد وكل منهما وبمساعدة عملية التسديد يتحددان بزاوية حادة واحدة.

هناك شرح للأجهزة مماثلة موجودة في كتاب "موازين الحكمة" للخازن أحدها يحمل اسم الميزان الأرضي، يشبه من حيث العمل قليلاً جهاز الكاراجي (شكل ٨) وهو ذراع ذو لسان ومقضب في الوسط (مقص). ويثبت في نهايتي الذراع خيطان في نهاية كل منهما ثقل. يضاف إلى الجهاز عمودان متساويان بالطول، تقريباً بطول الإنسان.

ويربط الخيطان بحلقتين موجودتان على مستويين مختلفين من سطح الأرض. وفي هذه الحالة يكون الميزان غير متوازن. ولإعادة توازنه يجب تحرير

الخيط المربوط على الحلقة العليا، حتى يصبح اللسان في نقطة تقاطع المقضب (المقص) وعندها فان المسافة التي حررت من الخيط تعادل فرق الارتفاع بين النقطتين.



شكل -٨- الميزان الأرضي للخازن

ويشرح الخازن جهازً آخراً على شكل رباعي مدرج متساوي السطوح، وعلق في أعلى هذا الشكل (الرباعي مطمار شاقول) يوضع الجهاز على الأرض، ثم يحرك (يزاح) حتى تصبح نهاية الشاقول غير متطابقة على مركز قاعدة الشكل الرباعي، وهذا شرط أفقية السطح المقاس، وا إذا لم يلاحظ أي ميلان، عندها فان مقدار الانحدار للشاقول عن مركز القاعدة يحدد مقدار ميلان السطح عن المستوي الأفقي[١].

---

(١) من هنا نلاحظ أن علماء الشرق في العصر الوسيط وصلوا في مجال الميكانيكة (التوازن العملي) إلى نتائج لا تقل أهمية عن "علم التوازن النظري" ويرجع هذا إلى طرق تحديد الوزن النوعي الذي اعتمد على النتائج الرئيسية لعلم الرياضيات في ذلك العصر، كما انه استند إلى قاعدتها التجريبية (نظرية الوزن والموازين) والى النتائج العملية في تركيب الآلات البسيطة وبخاصة الموازين) وتركيبها. وفي هذا المجال تم التوصل إلى مستو تقني عال، كما تم وضع الأساس من اجل التطور اللاحق في تقنية الآلات. وكان هذا منعكسا وعلى درجة عالية من التقدم في طرق ري الأراضي في الشرق في العصر الوسيط.

الفصل الرابع

الديناميك في الشرق في العصر الوسيط

بدأ الاهتمام بالاتجاه الديناميكي في الشرق في العصر الوسيط وتطور في بداياته على أساس الترجمة، وتفسير الأعمال الكتابية لأرسطو. وقد ولّد هذا العمل سلسلة متكاملة من الأبحاث التي تصدت لمجموعة من المسائل حول أسباب ومصادر الحركة، إضافة إلى فصول تعرضت إلى الأبحاث ذات المضمون الفلسفي، وتم التصدي لهذه الأسئلة في أبحاث ميكانيكية صرفة، وتأتي على رأسها أبحاث حول التوازن، ودراسة كل منها بشكل منفصل عن الآخر. وفي الوقت نفسه تجب الإشارة وبدرجة دقيقة إلى مجموعة المسائل المتعلقة بالبحث الديناميكي للعصر الوسيطوأهم هذه المسائل هي مسألة وجود (الخلاء) وا إمكانية الحركة في (الخلاء)،

ومشكلة الحركة في الوسط الذي يبدي مقاومة، وآلية نقل الحركة والسقوط الحر للأجسام، وحركة الأجسام المقذوفة تحت زاوية أفقية (زاوية:٠). وقد كانت هذه الأسئلة بالذات هي المادة الأساسية في الدراسة والتفسير.إن عدد المصادر حول المضمون الديناميكي ليس كبيراً، وا إن القسم الأعظم من أبحاث هذه الموضوعات نوه عنها في كتابات الآخرين، ولم تحفظ أصولها إلى أيامنا هذه. والدراسات المحفوظة هي إما المخطوط الأصلي أو ترجمته إلى اللاتينية، بالإضافة إلى الشروح والأبحاث الميكانيكية الفلسفية الخالصة، أو مخطوطات منسوخة عن الأصل. ففي العصر الوسيط في الشرق عرفت كتابات ابن سينا المسماة (كتاب المعرفة) وكتاب (الشفاء) وكتاب (النجاة)، وقد تعرضت هذه الكتب إلى مفهوم الحركة في الفصول الفيزيائية منها. كما وصل إلينا عدد من الكتابات ذات المضمون الموسوعي. وكذلك وصلنا مخطوط منسوخ لرسالة بين البيروني وابن سينا على طريقة كتابات أرسطو. وهناك أيضاً كتابات عن مشكلة الوزن والجاذبية تصدى لها الخازن في فصول من كتابه (موازين الحكمة) والتي ضمنها نتائج كل من الكوهي وابن الهيثم، إضافة إلى نظريات الخازن نفسه، كذلك تعرض العالم البغدادي في القرن الثاني عشر أبو البركات البغدادي (هو عماد الدين عبد الله ابن محمد بن عبد الرزاق الحربوي بن الخوام ١٢٤٥ – ١٣٢٤م المترجم) إلى مشكلة حقيقة الحركة. وفيما يلي سنوجه الاهتمام بشكل خاص إلى مجموعة العلماء المسلمين الأسبان و العرب، الذين عاشوا في القرن الثاني عشر، والذين عملوا بالمسائل الفلسفية، وتخصصوا في مسائل مفهوم الحركة ونقلها. ويأتي على رأسهم ابن طفيل الذي عمل في غرناطة وطنجة، وتلامذته البطر وجي وابن باجة. أما عن كتابات ابن طفيل في مجال الرياضيات والفلسفة فلم تصل إلينا،ومعظمها بقي ناقصاً دون استكمال، وقليل منها حفظ ووصلنا من خلال كتابات تلامذته. أما البطر وجي فهو مؤلف كتاب (أسس علم الفلك)، وقد ترجم مرتين إلى اللغة اللاتينية، وهو كتاب عرف في أوروبا على نطاق واسع في العصر الوسيط. كانت المعرفة الواعية لتفسيرات ابن رشد في العالمين العربي الإسباني وفي أوروبا عظيمة جداً. وكان يعرف في المراجع العلمية لذلك العصر باسم الشارح، وكما كان

يسمى أرسطو بـ (الحكيم) أو المعلم الأول. وكما كانت كتابات أرسطو الموضوع الأساسي في تعليقاته، فإن ابن رشد خلف شروحاً لكتابات بطليموس وأفلاطون والإسكندر والأفروديسي والفارابي وابن سينا وابن باجة. أما أعمال ابن باجة فلم تعرف إلا من خلال المترجم عنها فقط. وقد خلف ابن باجة شروحاً حول

(فيزياء) أرسطو والأعمال الفلسفية للفارابي. لذلك فان شروحه وتعليقاته الفيزيائية معروفة فقط من خلال مقالات انتقا دية لكتاباته عن ابن رشد. وقد تعرضنا لجزء بسيط من المصادر عن الدينا ميك، علماً أن المتوفر اكبر ومازال قسم منها على شكل مخطوطات تنتظر من ينشرها، وهناك الكثير منها مجهولة المؤلف.

التقليد الهلنستي المتأخر في الديناميك:

كتاب إقليدس عن الثقالة والخفة:

كما هو الحال في علم التوازن النظري، ففي تاريخ الديناميك يمكن الاعتماد (التسلح) ببعض حلقات الوصل بين المنهج الديناميكي القديم والاتجاه الديناميكي في الميكانيك في الشرق في العصر الوسيط. ففي الوقت الحالي لم تعرف إلا مقالة أصلية واحدة في الميكانيك ترجع إلى ما بعد عصر الإسكندرية، وهي مكتوبة على التقليد الديناميكي، وبكلمة أكثر دقة مكتوبة على تقليد أرسطو، رغم أنها من حيث الشكل ليست تعليقاً على كتابات أرسطو. ويوجد بحث أخر في الميكانيك كتبه إقليدس، ولكن أصله مفقود ولم تحفظ إلا الترجمة العربية له، وفيما بعد الترجمة اللاتينية، ويعرف باسم (كتاب إقليدس عن الثقالة والخفة ومقارنة الأجسام مع بعضها البعض). وقد نفى المؤرخ المعروف غ.سارتون نفيا قاطعاً أن يكون إقليدس صاحب هذه المقالات، وذلك لأن هذه المقالات تتصدى لمفهوم الوزن النوعي، الغريب عن مقالات إقليدس. وا إذا طرحنا جانبا المضمون الأساسيللبحث و انحصرنا في الاتجاه الديناميكي في الميكانيك نجد مايلي: نجد في هذه المقالات صياغة وشرح لقانون الحركة الأرسطي. والنص العربي لهذا البحث الذي كان أساساً للترجمات إلى اللاتينية، في العصر الوسيط، يرجع إلى القرن التاسع، كل هذا دعم الافتراض على

أن الترجمة الأصلية من اليونانية إلى العربية قام بها العالم والمعلق والمترجم العظيم ثابت بن قرة، الذي عاش وعمل في القرن التاسع، والشي الهام في ذلك هو أن مضمون بحث ثابت بن قرة عن الأوزان له علاقة وثيقة مع هذه الكتابات. وا ٕن دراسة بحث ثابت بن قرة تولد اهتماما خاصا وتربط هذا البحث مع كتاب إقليدس (عن الثقالة والخفة). يبدأ البحث بتسع بديهيات اعتمد عليها المؤلف ليبرهن على بعض الفرضيات.وبالاطلاع على جميع المخطوطات باللغة اللاتينية بلغ عدد الفرضيات الخمس، ومن خلال تحليل النصوص يظهر أن المخطوطات غير مكتملة. وبالاطلاع على النص العربي عثر على الفرضية السادسة. تتصدى البديهيات الثلاث الأولى لقيمة (Megnitudo) الجسم والحيز الذي يشغله (LOCUS) وهي:

١. الأجسام المتساوية بالقيمة تشغل أماكن متساوية.

٢. إذا كانت الأجسام تشغل حيزاً غير متساوية، عندها تكون قيمتها غير متساوية.

٣. الجسم الذي يكون اكبر من حيث القيمة يشغل المكان الأكبر.

يأخذ المؤلف عند الحديث عن قيمة الأجسام حجم الجسم بعين الاعتبار. أما (المكان) فيفهم منه حسب المفهوم الأرسطي، ليس الحجم الذي يشغله الجسم في الفضاء المطلق (الحيز) الذي يكون بمعزل عن الجسم، وا ٕنما حدود الحيز المشغول بالجسم، وبكلمة أخرى الحجم هو الوسط المادي الذي يشغل المكان. ومجموع هذه الأماكن تشكل حسب أرسطو الحيز المشغول(١).

وبمساعدة البديهيات الثلاث التالية يعرض المؤلف مفهوم القوة (Virtues Fortitudo) كسبب يساعد على سقوط (الثقل) الجسم إلى مستو ما، أو السعي نحو الأعلى (الخفة).

٤. الأجسام المتسلوية بالقوة تسير بزمن واحد وفي وسط واحد وتحتل أماكن متساوية.

(١) يرفض أرسطو وجود الخلاء في المكان. معتبراً أن الخلاء هو مستحيل فيزيائياً.

٥. إذا سارت الأجسام عبر وسط متساو بأوقات غير متساوية، عندها يمكن القول على أنها أجسام مختلفة من حيث القوة.

٦. الجسم الأكبر من حيث القوة هو الأقل من حيث الزمن[٢].

وكما هو واضح لا يفهم من (المكان) امتدادمستقيم تمر منه الأجسام، وا إنما يعدّ المكان حيزاً حجمياً مشغولاً بالأجسام، أي يتوافق بعلاقته مع التقليد الأرسطي، ويمكن القول بشكل خاص أن مضمون هذه البديهيات الثلاث هو التصور الأرسطي عن التناسب العكسي بين (ثقل الأجسام) وسرعة حركتها في الوسط.

وترتبط القوة عند حركة الجسم (الثقيل) أو (الخفيف) في الوسط مع كثافة وشكل الجسم واستمرار ثبات الحجم.

٧. تكون الأجسام المتجانسة من حيث النوع، متساوية من حيث القوة إذا كانت متساوية من حيث الحجم.

٨. إذا تساوت الأجسام من حيث الحجم واختلفت من حيث القوة في الهواء أو الماء، عندها تكون مختلفة من حيث النوع.

٩. الأجسام الأكثف تكون أشد من حيث القوة.

نأتي الآن إلى الفرضيات في البحث التي لم يبرهن عليها، وا إنما شرحت بمساعدة المخططات. تقول الفرضية الأولى (إذا مر جسمان من مكانين مختلفين في زمن واحد، فالجسم ذو القوة الأكبر يكون في المكان الأبعد)، وترجع هذه القاعدة إلى البديهية الخامسة. وتشكل هذه الفرضية مبدأً ديناميكياً، أو كما يسمى قانون الحركة عند أرسطو، والذي صاغه على الشكل التالي: (إذا دفعت قوة ما جسماً معيناً في

---

(٢) المقارنة الأرسطية (الأجسام التي يكون لها قوة أكبر تعبر بشكل أسرع في الحيزات المكانية المتساوية وضمن علاقة متناسبة، وتقع بالنسبة لبعضها البعض ضمن قيم محددة) ومن الواضح أن كاتب البحث يتابع المبدأ القديم للتجانس. أي يقارن الأمكنة التي تمر منها الأجسام بزمن واحد أحياناً، وأحياناً أخرى يتابع الفاصل الزمني الذي تقطع فيه الأجسام مسافة واحدة.

زمن محدد وعلى مسافة معلومة، فإن نصف هذه القوة تحرك نصف الجسم وبنفس الزمن إلى نفس المسافة التي قطعها الجسم).

ويؤكد في الفرضية الثانية والثالثة على الأجسام المتجانسة والمتحركة في وسط واحد، أن قوتها المحركة تتناسب مع قيمة حجمها.

ينطلق المؤلف في كلا الفرضيتين السابقتين من المفهوم التالي: (أن الأجسام التي لها قوة ثقل أكبر أو خفة أقل ولها شكل متشابه، فالأسرع تمر في الفراغ المتجانس ضمن هذه العلاقة التناسبية، التي ترتبط بحجم كل جسم بالنسبة للآخر). ويؤكد على أن سرعة سقوط الجسم في الوسط لا تتعلق بكثافته فحسب، وا ٕنما ترتبط بالحجم الذي يشغله. بهذا الشكل لا تحسب الحركة الخطية للجسم، وا ٕنما المكان الذي يمر فيه، أي حجم الجزء من الوسط المشغول بالجسم أثناء الحركة.

تتلخص الفرضية الرابعة بالتأكيد على أنه: إذا كان جسمان مساويان لجسم ثالث من حيث النوع، ومتساويان فيما بينهما، فإن ذلك يؤكد تساويهما بالحجم. وتقول الفرضية الخامسة أنه إذا تناسبت قوة جسمين أثناء عبورهما الوسط مع حجميهما، عندها فإن الجسمين يكونا من نوع واحد، ويتبع هذه الفرضية البديهيات السابعة والثامنة حول تحديد نوع الأجسام. والفرضية السادسة كما ذكرنا محفوظة باللغة العربية فقط. أما البديهية التاسعة فهي حول الفكرة المعروفة بالعكسية: (إذا كان هناك جسمان غير متساويان بالحجم (بالقيمة) ومتساويان بالقوة(١)، فالجسم الأصغر حجماً هو الأكثف.

يدور الحديث هنا عما كتب عن المبدأ الديناميكي لأرسطو. مع أن الديناميك الأرسطي يتميز بمفهوم مشابه لهذه العلاقة: لا تتعلق (قوة) الحركة للهبوط الحر للأجسام على حجم الجسم فحسب، إنما ترتبط أيضاً بحجم (ولكن ليس على امتداد خطي) الجزء من الحيز المكاني المشغول بهذا الجسم أثناء حركته في الوسط.

شروح فيلوبون وسيمبليكي:

---

(١) أي تضاف إليه قوى متساوية.

وصلت إلينا من القرن السادس (الترجمة اللاتينية) شروح لكتابات أرسطو (الفيزياء) وكتاب (السماء)، وقد قام بذلك عالمان من علماء الإسكندرية هما إيون فيلوبون (غراماتيك) وسيمبليكي (وكذلك قام سيمبليكي بشروح وتعليقات على أبحاث أرخميدس في الميكانيك (ولكنها لم تصلنا). ففي الشروح والتعليقات على كتاب (الفيزياء) يعارض النظرية التي كانت سائدة عند التابعين القدماء لأرسطو في تفسير آلية نقل الحركة من المحرك إلى (المتحرك). وكما ذكرنا أعلاه وحسب رأي أرسطو يتم نقل الحركة من خلال وسط فاصل. ويؤكد فيلبون على أنه من أجل تفسير الحركة للجسم المدفوع، ليست هناك ضرورة من أجل تصور دور الوسط الوسيط. ويعتبر أن هذا الدور هو قوة محركة واحدة تكسب الجسم الحركة في اللحظة الإبتدائية لمنبع الحركة. وتستمر هذه القوة بالتأثير عندما ينفصل الجسم عن المنبع. أما الوسط (الهواء، الماء، وغيره) فكما تدل التطبيقات العملية اليومية فهو غير ملائم، بل يعيق من حركة الجسم. ويعتبر فيلوبون أن منبع الحركة هو أداة ينطلق الجسم بمساعدتها (اليد، الحجر المقذوف، القوس الذي يطلق السهم)، ولكن القوة المحركة لا تنتقل إلى الوسط، وا إنما تنتقل مباشرة إلى الجسم المقذوف نفسه، وهي (خلافاً لأرسطو) التي تحدد سرعة الجسم فقط كما هو الحال في السقوط الحر، وكذلك في حالة طيران الجسم تحت زاوية ما بالنسبة للأفق.وهنا يمكن أن تكون مقاومة الوسط عاملاً مخففاً من سرعة الجسم.

أما في المكان الذي تنعدم فيه هذه المقاومة فإن حركة الجسم يمكن أن تكون أبدية.

ويفترض فيلوبون أن مثل هذه الحركة التي لا تلقى مقاومة هي الحركة الدائرية المنتظمة للأجرام السماوية والكرة السماوية. وترجع البدايات الأولى لهذا التصور إلى كيباره. وينوه سيمبليكي في تعليقه على بحث أرسطو (عن السماء) إلى بحث كيباره (عن الأجسام التي تتحرك إلى أسفل تحت تأثير الثقل)، ولكن أصل البحث لم يصل إليهم.

إن عملية سقوط الجسم المدفوع عمودياً إلى أعلى، يتصوره كيباره على الشكل التالي: يتحرك الجسم إلى أعلى تحت تأثير قوة معينة، وتتناقص سرعة الجسم تدريجياً، وتأتي لحظة يصبح الجسم فيها في حالة التوازن (السكون)، وفيما بعد وتحت تأثير ثقل الجسم يبدأ بالسقوط، حيث تبدأ قوة الجسم بالتحرك إلى الأسفل بشكل متسارع حتى تصل إلى السرعة الأعظمية في اللحظة التي تنعدم فيها القوة (وصول الجسم إلى الأرض).

وخلافا لأرسطو فإن فيلوبون لا ينفي إمكانية حركة الجسم في الخلاء. ويمكن أن يتحرك الجسم في الخلاء بسرعات مختلفة، كما تتحرك (كلمات فيلوبون) الكرات السماوية الثمانية، علماً أن جميعها لا تتعرض لمقاومة الوسط. وتتحدد سرعة هبوط الجسم حسب رأي فيلوبون بقيمة الجسم نفسه (السعي الطبيعي) بالدرجة الأولى، وبمقاومة الوسط بالدرجة الثانية. ولهذا فإن هبوط الأجسام في الخلاء سيكون لكل منها سرعة خاصة به، وهي سرعة ليست أنية كما يؤكد أرسطو.

تسير مناقشة فيلوبون للموضوع على الشكل التالي: نفرض أن حجراً يسقط في الخلاء، ويقطع مسافة ما خلال ساعة زمنية. فإذا استبدل الخلاء بوسط مائي فإن الحجر يقطع هذه المسافة بزمن أطول،على سبيل المثال ساعتين، وا إذا استبدل الماء بوسط أقل كثافة، على سبيل المثال الهواء فإن المسافة ستقطع خلال ساعة ونصف مثلاً وهكذا، من هنا يتضح أنه (في الوسط (الحيز المكاني) المشغول بمادة ما تكون فيها سرعة حركة الجسم أبطأ من سرعته في الخلاء. وفي هذه الحالة فإن شكل الأجسام يجب ألا يلعب دوراً في تحديد السرعة، إذا كانت أوزانها متساوية، وذلك لأن سرعة الأجسام تتعلق بالسعي الطبيعي الخاص لكل منها نحو مركز الثقالة).

وبهذا الشكل برهن فيلوبون على انعدام العلاقة التناسبية المباشرة بين وزن الأجسام وسرعتها عند سقوطها في الهواء، وعمم هذه القاعدة على سقوطها في الخلاء. وقد أيد الأفلاطوني الجديد سيمبليكي نظرية الانتي بريستازيس (نظرية فيلوبون لمشروحة آنفاً حول سرعة الأجسام في الخلاء) وعارض أرسطو في وجهة

النظر هذه بالذات، وكان هذا هو السبب في مناقشته مع فيلوبون، التي نتج عنها مقالة كتبها في شرحه لفيزياء أرسطو.

عرض سيمبليكي نظرية البريباتيت ونظرية الأنتي بريستازيس ونظرية كيباره، وفي النهاية قدم أفكاره الخاصة. وحسب رأي سيمبليكي فإن سرعة الجسم تتزايد كلما اقترب من الأرض. ومن هنا نلاحظ أنه كلما كان الجسم أقرب إلى الأرض، كلما كانت المقاومة التي يتعرض لها أكبر. وتأتي قيمة شروح وتعليقات سيمبليكي أيضاً في أنه لم يتعرض إلى أفكار أرسطو وحدها، وا إنما عرج على كتابات فيلوبون أيضاً. وبفضل هذه الشروح والتعليقات وصلت إلينا أجزاء ومقاطع من الأبحاث القديمة التي سبقت شروح أرسطو، والتي كتبها كل من الاسكندر افروديسك (القرن الثالث)، وفيميستيا (القرن الرابع)، ولن نتكلم عن نظرية كيباره هنا. وقد أظهرت نظرية فيلوبون كما سنرى فيما بعد تأثيراً عظيماً على تشكل نظرية (القوة) في الشرق في العصر الوسيط، والتي لعبت بدورها دوراً هاماً في تشكل نظرية (إمبيتوس) في أوروبا في العصر الوسيط.

مفهوم القوة والثقل:

الثقالة – الجاذبية:

ظهر النهج الديناميكي في الميكانيك في الشرق في العصر الوسيط وبقوة كبيرة في البحوث التي حملت مثل هذه المفاهيم كالقوى والثقالة والوزن وغيره. وتم التصدي لهذه المسائل بالذات في فصل خاص من كتاب (موازين الحكمة) الذي ضمن فيه الخازن وجهة نظر الكوهي وابن الهيثم. ويتحدد الجسم الثقيل في هذا الفصل على الشكل التالي: (الجسم الثقيل هو الجسم الذي تقع في مركزه الداخلي قوة تتجه نحو مركز الكون. وهذه القوة خاصة بالجسم ولا تتركه ما دام الجسم لم يبلغ مركز الكون).

بالنظر إلى هذا التحديد للجسم نجده على النهج الأرسطي المحض. ويدور الحديث هنا عن حركة الجسم الطبيعية، الذي يسعى إلى مكانه الطبيعي، وحسب رأي أرسطو فإن المكان الطبيعي للأجسام الثقيلة هو مركز الكون. ويفهم من كلمة قوة هنا (السعي) وهي إحدى الخواص التي يستكمل من خلالها التأثير

(الفعالية) لعدم إمكانية توقف خاصة الجسم ذاته. عندما يكون الحديث عن سقوط الجسم إذا كانت حركة الجسم في مستو أفقي، أو تحت زاوية ما مع السطح الأفقي. ولصياغة هذا التحديد وضع المؤلف علاقة هذه (القوة)، وبين الخواص الفيزيائية وبارامترات (مقاييس أو محددات قيمة) قوة الثقالة، أي علاقتها مع الكثافة ومع شكل وحجم الجسم:

١ – يكون للأجسام الثقيلة قوى مختلفة. حيث يكون لبعضها قوة كبيرة، وهي الأجسام (الكثيفة).

٢ – يكون لبعض الأجسام الأخرى قوة قليلة، وهي الأجسام قليلة الكثافة.

٣ – كلما كانت الكثافة أكبر كلما ازدادت القوة.

٤ – الأجسام المتساوية من حيث القوة، تكون متساوية من حيث الكثافة.

٥ – الأجسام المتساوية من حيث الحجم والمتشابهة في الشكل والمتساوية الثقل تكون متساوية القوة.

هذه الحالات الخمس مشابهة للبديهيتان ٧ – ٩ اللتان تعرضنا لهما آنفاً في بحث إقليدس (الثقالة والخفة) الذي وضع بشكل كامل في كتاب (موازين الحكمة)، ذلك الكتاب الذي يعد إلى جانب كتاب (الفيزياء) لأرسطو أحد المصادر الأساسية التي اعتمد عليها كل من الكوهي وابن الهيثم.

وفيما بعد يوضح مفهوم القوة المرتبطة بمفهوم الوزن. فمن جانب أول مع وزن الجسم الذي يشكل قيمة تتعلق بحجم وكثافة هذا الجسم، أما عند الحركة في السائل أو في وسط آخر فتصبح العلاقة مع شكل الجسم، ومن جانب آخر مع وزن الجسم الذي يشكل قوة تدفع الجسم باتجاه مركز الكون.

كان لمفهوم الوزن في أعمال علماء الشرق في العصر الوسيط شقان: الشق الأول أو المفهوم الأول هو تعيين الثقل المعلق على العتلة. والمفهوم الثاني فهو مرتبط بمفهوم القوة التي يتحرك الجسم تحت تأثيرها إلى مكانه الطبيعي. وهذا الاتجاه هو السعي نحو مركز الكون.

وعلى أساس التصورات الأرسطية فإن كلاً من الكوهي وابن الهيثم يربطان تغير وزن الجسم مع تغير مسافته عن مركز الكون. (هذه القوة لا تترك الجسم، مادام هذا الجسم لم يبلغ مركز الكون بعد)، ولهذا فإن وزن هذا الجسم يتحدد بالقوة، أما في مركز الكون فإن هذه القوة تنفصل عن الجسم، وبالتالي فإن وزن الجسم في مركز الكون يساوي الصفر. وبهذا الشكل كانت النظرة إلى الجسم على شكل مجموعة واحدة متغيرة.والقوانين التالية والموجودة في كتاب (موازين الحكمة) تؤكد هذا الافتراض.

١ – (الأجسام) المتساوية بالقوة والحجم والشكل والمسافة عن مركز الكون هي أجسام متساوية بالثقل (الوزن)

٢ – إذا تساوى جسمان بالقوة والحجم والشكل، واختلفا من حيث المسافة عن مركز الكون، فالجسم الأبعد منهما هو الأثقل.

وهنا لا بد من التأكيد على مفهوم كلمة المسافة عن مركز الكون: (الأجسام الثقيلة التي لها مسافات متساوية عن مركز الكون، هي الأجسام التي يكون فيها الخط الواصل من مركز الكون إلى مراكز ثقل هذه الأجسام متساو من حيث الطول). وفيما بعد صيغت علاقة الأوزان، وهي علاقة ثقل الجسم مع مسافته عن مركز الكون: (إذا تساوى جسمان من حيث القوة والحجم والنوع، واختلفا من حيث المسافة عن مركز الكون،، عندها لا بد أن يكون أحد الجسمين من حيث الوزن أثقل من الآخر).

من الطبيعي أن نعرف أن هذه الاستدلالات افتراضية محضة. ولا يوجد فيها أية إشارة إلى أي شكل محدد ودقيق لهذه العلاقة، رغم أن الوزن في مركز الكون يفترض أنه مساو للصفر، وسيزداد هذا الوزن كلما ابتعد عن مركز الكون.

أما التطور اللاحق لهذه الفرضية وا ٍثباتها فتم على يد الخازن في كتابه (موازين الحكمة)، وقد برهن عليها كما يلي: (لكل جسم وزن محدد، ومع ابتعاد الجسم عن مركز الكون فإن الاختلاف في وزن هذا الجسم سيكون مرتبطاً بمسافة ابتعاده عن هذا المركز،وكلما أصبح بعده أكبر كلما أصبح وزن الجسم أكبر، وكلما أصبحت

المسافة أقل كلما تناقص وزن الجسم، وأن علاقة الوزن إلى الوزن (ستكون بنفس منحى) علاقة المسافة إلى المسافة).

وهذه العلاقة يمكن أن تكتب على شكل صيغة: P1\p2 = h1\h2

إذا كان من خلال H1، P2، H1، H2 تعني الوزن والمسافة لكلا الجسمين المقارنين بعلاقتهما مع مركز الكون. وفي هذه الحالة يفهم من وزن الجسم كمجموعة واحدة، مشابهة للمفهوم الحديث للطاقة الممكنة.

وبهذا الشكل فلأول مرة في تاريخ علم الميكانيك تفرض نظرية عن تغير وزن الجسم بعلاقته مع المسافة عن مركز الكون، وهذا ما كتبه الخازن في كتابه (ميزان الحكمة). ولم يظهر مثل هذا السؤال في أي من الأبحاث المنشورة وغير المنشورة لمؤلفي العصر الوسيط، وحتى ليس له وجود في الكتابات القديمة عن الميكانيك. كما صاغ الكوهي وابن الهيثم فرضية أخرى تتصدى لوزن الجسم. وفي هذه المرة ينطلقان من قانون أرخميدس عن العتلة. (إذا تساوى جسم ما من حيث الوزن مع جسم (آخر) نسبياً في (بعض النقاط) و(إذا) نقل هذا الجسم فيما بعد باتجاه معاكس لوجود الجسم الأول، بحيث أن مركز الثقل لكلا الجسمين يقع على خط مستقة الميكانيك والفلك م-١٠
عن نقطة مركز الثقل هذه يتزايد وزنه).

يمكن أن ينظر إلى هذا التصور كمفهوم مستقبلي لوضع الجسم (الثقل المتوافق مع الوضع) لثقل ما، الذي يأخذ قيماً مختلفة بالعلاقة مع أوضاعه (مكانه) على ذراع العتلة. يمثل هذا المفهوم التطور اللاحق لفرضية مؤلف (المسائل الميكانيكية) الذي ينص على أن الجسم الواحد يمكن أن يظهر (بأوزان) مختلفة. أي يختلف من حيث وضعه على نهاية الذراع الطويل أو القصير للعتلة.

لقد شاهدنا أنه يلتقي حول مفهوم واحد هو مفهوم الوزن بحثان لعالمان مختلفان. البحث الأول يربط الوزن مع نقطة ارتكاز أو تثبيت العتلة، والآخر يربطه مع مسافته عن مركز الكون. فوجهة النظر الأولى تربطه بالأرخميدسية ونهج (المسائل الميكانيكية) والثانية تعيده إلى النهج الأرسطي. وفي كلا الحالتين فإن الوزن هو ثقل يتعلق بوضعه بالنسبة لنقطة ما. وفي الحالة الثانية فإن لهذا المفهوم

مدلول افتراضي لم يلق تطوراً لاحقاً في العصر الوسيط لا في الشرق ولا في أوربا. وأن حقيقة تغير وزن الجسم بالنسبة لمسافته عن مركز الأرض لم تعرف إلا في القرن الثامن عشر فقط، وذلك بالعلاقة مع نظرية الجاذبية. وفي الحالة الأولى تولدت لدينا(وبشكل أدق وجهة نظر) تصورات عن(الثقل المتوافق مع المكان)، الذي انتشر فيما بعد انتشاراً واسعاً في علم التوازن في العصر الوسيط في أوروبا في القرنين الثاني عشر والثالث عشر، على يد العالم الأوروبي المعروف إيوردان ينموراي وتلامذته حيث استخدم هذا المفهوم في إثبات القانون الأساسي للعتلة.

الهيدروستاتيك (علم التوازن المائي) والهيدروديناميك (علم الديناميك المائي):

ربط علماء العصر الوسيط في الشرق مسألة توازن الأجسام السائلة بشكل مباشر مع الهيدروديناميك المميز لذلك العصر، والذي كان يفهم منه دراسة حركة الجسم في وسط مقاوم. وكما هو الحال في الفصول الأخرى لميكانيك ذلك العصر، فإن هؤلاء العلماء وحدوا بين النهج الأرخميدسي والنهج الأرسطي في دراسة الحركة. وقد تكلمنا عن الهيدروستاتيك الأرخميدسي في مكان آخر من هذا الكتاب. أما الآن فسننظر إلى دراسات أرسطو، التي تتعرض لحركة الأجسام المتحركة بمقاومة خواص الوسط الذي تتحرك فيه (كثافة الوسط – (الخلاء) أو (الوسط المخلخل)، وكذلك يربطها أيضاً مع بارامتر: napametp = (محددات) قيمة الجسم ذاته (شكله وحجمه وثقله أو وزنه). فإذا تساوى جسمان بالشكل والحجم وسقطا في الهواء كلما كان أحدهما أسرع كلما كان وزنه أكبر، أي أن سرعة سقوط الجسم تزداد مع زيادة وزنه. وسرعة سقوط هذين الجسمين متباينة، وذلك لأن الأكبر وزناً منهما يخترق الوسط بشكل أسرع.

بهذا الشكل نجد أن سرعة سقوط الأجسام في الوسط تتحدد بكثافتها. والحركة في أي وسط ممكنة عندما تزيد القوة المحركة للجسم عن مقاومة الوسط. وعلاقة مقاومة الوسط مع كثافة وشكل الجسم وضعها أرسطو بشكل افتراضي. أما القيمة الكمية (لقوة المقاومة) والتي يطلق عليها في علم الميكانيك المعاصر القوى التصادمية فقد وضعها أرخميدس كما هو معروف.

إن المصدر الوحيد الذي يمكن الحكم من خلاله على المستوى الذي وصلت إليه هذه المسائل في العصر الوسيط في الشرق هو الموسوعة الخاصة بعلم الميكانيك التي كتبها الخازن. والتي أصبحت الأساس في التوسع في كتابات المؤلفين القدماء والعلماء الذين سبقوا الخازن في الشرق في العصر الوسيط، وهم الذين اعتمد عليهم الخازن في كتابة هذه المواضيع. ففي البداية نشر الخازن مقاطع من بحث أرخميدس (الأجسام العائمة أو الطافية)، وفيما بعد صدر عمله الذي عرف فيما بعد في أوروبا باسم كتاب (عن الأوزان) المغمورة بالماء، أي أنه وضع أسس علم الهيدروستاتيك (علم توازن السوائل). ويتبع ذلك بحث إقليدس عن (الثقالة والخفة)، أي وضعت دراسة عن حركة الأجسام في مختلف الأوساط المادية على الشكل الذي كانت معروفة فيه عند الخازن. ومن خلال ما هو مكتوب يظهر أن الخازن كان يعرف ما كتبه أرسطو نفسه عن هذا الموضوع. وقد نشر الخازن بحث إقليدس لأنه يضع فيه وبشكل دقيق جوهر فرضيات أرسطو، التي تبعثرت وتشتت في عدد من كتاباته، إضافة إلى ذلك، الفرضيات نفسها التي حددت نقاط بنائه الخاص.

ويضع الخازن نظريته الخاصة في فصل مستقل من كتاب (موازين الحكمة) ونظرية الخازن حسب قوله) إذا تكون جسم ما من مواد معينة وانتقل من هواء قليل الكثافة إلى هواء أكثر كثافة، عند ذلك يصبح الجسم أخف من حيث الوزن، أما إذا كان الجسم في هواء كثيف وانتقل إلى هواء أقل كثافة، عندها يصبح وزنه على العكس. وتحت كلمة كثافة أكثر أو أقل للهواء يفهم الخازن درجة كثافة الوسط.

يرجع هذا الإثبات إلى نظرية أرخميدس. وفي حقيقة الأمر فإن الخازن قام بتوسيع الفرضية السابقة للبحث عن (الأجسام العائمة)، والأجسام المتحركة ليس في الهواء كما فعل أرخميدس، وا إنما في وسط مختلف الكثافة.بهذا الشكل يقدم في الهيدروستاتيك الأرخميدسي مفهوماً ذا علاقة مع النظرية الأرسطية لحركة الأجسام في الأوساط المختلفة.

ويضع الخازن في وقت لاحق سلسلة من الفرضيات تتوحد فيها النظرية الأرخميدسية لمختلف الأجسام في السوائل، إضافة إلى دراسة أرسطو عن حركة الأجسام في الأوساط المادية.علماً أن هذا التوحيد بين اتجاهين مختلفين في الميكانيك القديم ليس بالعملية السهلة، فقد استخدم الخازن قانون الهيدروستاتيك بالنسبة للوسط الهوائي والانتقال من مشكلة توازن الأجسام في الوسط إلى مسألة الحركة في هذا الوسط، وقد أصدر الخازن نظرية واحدة تشمل الحالة العامة: عن حركة الأجسام في الوسط مع حساب مقاومة هذا الوسط، وحساب القوة التصادمية. (إذا تحرك جسم ثقيل (له وزن) (القول للخازن) عندها يحدث تشويش بين الوسط والجسم. فالسائل يعيق من حركة الجسم الذي رمي فيه، ويضعف من قوة حركته بمقدار يتعلق بحجم هذا (الجسم)، وتستمر هذه المقاومة ما دام الجسم الثقيل أثقل من وزن السائل الموجود فيه، وتستمر قيمة وزن الجسم بالتناقص إلى أن تتساوى مع قيمة وزن السائل المحيط بحجم الجسم، وكلما كان الجسم المتحرك أكبر، كلما كانت درجة الإعاقة أكبر في حالة حركة الجسم (يخضع الجسم لهذه الإعاقة). وكذلك يتابع الخازن كلامه (وتتباين قوة حركة الأجسام أيضاً في الهواء وفي الماء. ويرجع سبب هذا التباين – إلى الاختلاف في شكل هذه الأجسام).

بهذا الشكل نجد أن الخازن يتعرض إلى شكلين من أشكال القوة التي تؤثر على الجسم المتحرك في وسط مادي. واحدة من هاتين القوتين تبدي مقاومة على حركة الجسم (بالاتفاق مع دراسة أرسطو)، المتعلقة بشكل الجسم. والأخرى أرخميدسية ولها علاقة مع حجم الجسم، ولكن حسب رأي الخازن هذه القوة لها علاقة مع كثافة الوسط. ومن الواضح أن لجميع هذه الاستدلالات التي قدمها الخازن مغزى تطبيقي مباشر، فهي أساسية بالنسبة للخازن من أجل القواعد والأسس التي وضعها من أجل الوزن في كتابه (موازين الحكمة). (إذا وضع جسم ثابت في كفة ميزان، (وغمر مع الكفة) في الماء،فإن ذراع الميزان سيميل بما يتناسب مع وزن الجسم، وليس بما يتناسب مع حجمه..... ويؤكد الخازن على أن قوة الجسم المتحرك في الماء تتناسب مع شكله، وليس مع حجمه).

نقد ابن سينا والبيروني لأعمال أرسطو وتعليقهما عليها:

عندما تحدثنا عن الحركة وجدنا أنها مرتبطة بشروط أرسطو بدرجة معينة زادت أو نقصت. ووجدنا أيضاً أن هناك مستوى محدوداً وصلت إليه هذه الكتابات: فشرح كتابات أرسطو كانت مرحلة أولى وضرورية لكل دارس للطبيعة. وأن التصورات الديناميكية لابن سينا ضمنها في كتابه (المعرفة). وقد بدأ ابن سينا بخط مستمر مع أرسطو. ففي كتاباته يؤكد أن (الحركة توجد بشكل موضوعي في حال وجود الماء). ويحدد مفهوم الحركة على أنها تغير مستمر في وضع الجسم، أما الحركة في الفراغ (الحيز المكاني)، أي الحركة الميكانيكية فهي شكل من أشكال الحركة بشكل عام. ويقول ابن سينا في هذا المجال: الحركة هي حالة من حالات الجسم عندما يتغير وضعه تحت تأثير مؤثر ما عليه. وهذا انتقال من الفعل إلى المؤثر الذي يستمر تأثيره، وليس ناتج عن صدمة واحدة. واستمراراً مع نهج أرسطو فإن ابن سينا يقسم أنواع الحركات إلى (الحركة الطبيعية) و(الحركة القسرية أو الجبرية)، وكل حركة من هاتين الحركتين في زمن معين – ويكون مصدر الحركة القسرية (محرك) موقعه خارج نطاق الجسم المتحرك. أما الحركة الطبيعية فهي حركة ذاتية تحدث من تلقاء نفسها (فإذا وجدت أجسام معينة لا تؤثر فيها الحركة القسرية، فإن هذه الأجسام لا تسعى إلى أي مكان، هذه الحالة موجودة في الحركة الطبيعية للأجرام السماوية)، ولتأمين حركة هذه الأجسام لا بد من توفر محرك ما. أي أن حركة الأجسام في (العالم الخارجي) أعطيت فعل وحيد، وهي التي تولدت عن المحرك الأول). ويتابع ابن سينا صياغته على النهج الأرسطي للعلاقة بين سرعة الجسم والمسافة التي يقطعها.

وخلافا لفيلوبون فان ابن سينا يتبع أرسطو في نفيه لإمكانية وجود الخلاء. وأن الحركة في الخلاء حسب رأي ابن سينا غير ممكنة، أما في حالة انعدام المقاومة فان الحركة تستمر إلى اللانهاية،وهذا صحيح بالنسبة للحركة العامة للعالم الخارجي فقط.

لقد وصل إلينا مخطوطاً لأثنين من أعظم علماء الشرق في العصر الوسيط وهما البيروني وابن سينا يتصدى لأعمال أرسطو. ويتألف هذا المخطوط من

سلسلتين من الأسئلة للبيروني وأجوبة عليها لابن سينا حول كتابات أرسطو عن (السماء) و(الفيزياء). وقد وضع هذا المخطوط من قبل البيروني حيث تعرض فيه لعدد من المشاكل أهمها: الأسس الفلسفية للرياضيات، وأسئلة في الفيزياء (وبشكل خاص البصريات) وأسئلة حول الحركة وإمكانية وجود الخلاء. ومن الملاحظ أن مقولة البيروني موجهة بشكل دقيق وواضح ضد النظرة العقلية المحضة عند أرسطو، التي تمسك بها بشكل متعصب في العديد من كتاباته. وهنا يظهر ابن سينا بدور المفسر والمدافع عن أرسطو. وفي هذا المخطوط كما هو الحال في بقية المقالات العلمية الأخرى فإن البيروني يقف على التجربة شخصياً ليحصل على النتائج العلمية.

ومما يميزه أن النظرة العامة كانت إلى جانب ابن سينا، وهذا ما كتبه أحد معاصريهم حول هذا المخطوط. لم يكن عمله (أي البيروني متعمقاً في لجة النظرة العقلية. وكل إنسان ينجح إذا قصد أن ينتج فقط). ومن المعروف أن البيروني لم يكن راضيا عن أجوبة ابن سينا على أسئلته، وردا على ذلك بعث له اعتراضه. ومن الممكن ألا يكونالبيروني هو الذي كتبها،وإنما سعيد أحمد بن علي، الذي كتب عليها (اسم البيروني).

وقد وضع البيروني بحث أرسطو موضع الشك، وهو بحث حول أن الجسم الذي يتم حركة دائرية منتظمة لايمكن أن يكون له (ثقالة) أو (خفة)، وعلى أساس هذه العلاقة فان كامل المنظومة الكونية تصبح في موضع الشك. وابن سينا يتبع أرسطو ويؤكد على إن مثل هذا الجسم، وبشكل خاص الكرة السماوية لايمكن أن تسعى إلى الأسفل أو إلى الأعلىوإنما تبقى في (مكانها الطبيعي)، وهنا لاتسود لا الثقالة ولا الخفة، وخاصة العناصر التي تسعى إلى الأعلى ليست لثقالة العناصروإنما السعي نحو مركز الكون – وهنا يسأل البيروني في السؤال الثاني في الفيزياء، من من الاثنين على حق؟ هل الذي يؤكد أن الماء والأرض (الجسم الثقيل) يتحركان إلى مركز الكون، والهواء والنار (الجسم الخفيف) يتحركان باتجاه

معاكس. أو ذاك الذي يقول أن جميع العناصر تسعى إلى المركز والأثقل فيها يسبق الأخف؟.

يعتمد ابن سينا وجهة نظر أرسطو، ويفترض البيروني أن جميع الأجسام دون استثناء تسعى إلى مركز الأرض. ويستدل على هذا الرأي فيما بعد في عمله (الجيوديزيا) (المساحة)٠ حيث يقول: ((الثقالة) هي خاصية السعي من كافة الجهات نحو المركز. وعلى هذا الأساس يفسر كروية سطح الماء، وسبب تشوش هذا السطح. ناتج عن انعدام التماسك بين ذراته). وبالعلاقة مع قاعدة بطليموس يقدم البيروني آراء مختلفة حول تفسير أن (الأرض بغض النظر عن ثقالتها فإنها تسبح في الهواء ولا تنحرف). ويذكر بطليموس أن هناك حركتان متعاكستان بوقت واحد لجسمين ثقيلين، إحدى هاتين الحركتين تتوجه نحو مركز الكون، أما الثانية فتنطلق منه. وحسب رأي البيروني أن هذا مستحيل في الحالة العامة (العادية)، ولكن يمكن أن ينشأ هذا الوضع عندما تكون إحدى الحركتان طبيعية، والثانية اصطناعية.

وتوجد عدة أسئلة للبيروني تتعرض لمشكلة وجود الخلاء وا ٍمكانية الحركة فيه. وابن سينا مقتفيا آثار أرسطو يفترض أن الخلاء استحالة فيزيائية. والشيء الوحيد الممكن فيها هو شكل الحركة، وا ٍذا افترضنا أنه ممكن فهو مجرد وهم وتخيل، وهذه حركة الكرة السماوية والأجرام السماوية المرتبطة بها، أي الحركة المتساوية (المتكاملة) للأجسام ذات الشكل الكروي التام. ويفترض البيروني على أن هذه الحركة ليست ممكنة في الخلاء فقط. إضافة إلى ذلك يقدم البيروني فكرة على أن الأرض ليست كروية تماما،وا ٍنما لها شكل البيضة أو العدسة (ممطوطة أو إهليلجية الدوران). ولتأكيد وجود الخلاء يقدم البيروني معطيات عن التجارب اليومية: ((إذا نحن وافقنا وبشكل قاطع على انعدام الخلاء داخل الكون وخارجه، (يجيب البيروني)، عندها لماذا نمص عنق الأوعية الزجاجية (لتخليته من الهواء)، وفيما بعد نقلبه وندخله في الماء، فنجد أن الماء يدخل فيه ويرتفع تدريجياً؟) (إذا اعتقدنا بعدم إمكانية وجود الخلاء وأصبح قسم منه خارج الوعاء والهواء الباقي في الوعاء أصبح مخلخلاً، فأين اختفى هذا الفائض؟).

إحدى مقولات البيروني أنه يمكن أن نقيم كيف نفهم الخاصية النسبية للحركة. (وليكن مراقبين موجودين قطرياً في مكانين متقابلين، الأول على أرض الغرفة والثاني على السقف، هل يعرف الموجود على السقف أنه سيعود؟، هكذا يتسائل البيروني، ثم يؤكد فيما بعد أنه إذا كان واحد منهما سينتقل إلى مكان آخر،فلا يختلف في شيء عما كان عليه الآخر. والناس في كافة الأماكن على سطح الأرض تقع في نفس الوضع.

تاريخ نظرية قوة الدفع:

كان الهدف من العمل بنظرية قوة الدفع في العصر الوسيط في أوروبا، من أجل حل مسألة آلية نقل الحركة، وتفسير عملية السقوط الحر للأجسام، وحركة الجسم المدفوع تحت زاوية ما مع الأفق(١). وترجع البدايات الأولى لنشوء المفاهيم التي تشكلت على أساسها هذه النظرية إلى القرن الثالث عشر،أما ظهوره بشكل واضح ودقيق (ظهر في فكر العصر الوسيط بشكل دقيق) فيرجع إلى النصف الأول من القرن الرابع عشر على يد بوريدان الباريسي. وقد أطلق بوريدان على عملية الدفع هذه اسم (القوة) التي تخرج من المحرك وتؤثر على الجسم المتحرك. وتتحدد قيمة الدفع هذه كما هو الحال بالنسبة للسرعة التي يكتسبها الجسم من المحرك وكتلة الجسم. ويتوقف تلاشي القوة الدافعة على مقاومة الوسط بالدرجة الأولى، وعلى سعي الجسم إلى مكان آخر بالدرجة الثانية،إذا لم يكن سقوط الجسم سقوطاً حراً، بل يتحرك تحت زاوية ما بالنسبة للأفق. وبهذا الشكل يكون بوريدان قد فهم القوة الدافعة على أنها مصدر للحركة،وكسبب لاستمرار هذه الحركة. ويفترض بوريدان نوعية هذا الاستمرار بالنسبة للجسم المتحرك (المنطبع) فيه. لذلك فإن خاصة جذب الحديد هي (انطباع) في المغناطيس. ولهذا فإن هذا الدفع يضيع بحد ذاته. وهذا ممكن فقط بسبب مقاومة الوسط أو مقاومة الجسم. وهنا نجد أن جميع مؤيدي نظرية الدافع

---

(١) تترجم الكلمة اللاتينية Impetus أحياناً إلى مصطلح دفع. وفيما يلي سنرى أن هذا غير صحيح. وما يقابله بهذا المصطلح كما هو مترجم فقط في بعض الحالات.

تقريباً قدموا في مثالهم حركة الدوامة (البلبل) الذي يمكن أن يفسر بمساعدة التصورات الأرسطوطاليسية (الوسط الفاصل).

إن مشكلة نقل الحركة هي إحدى المشاكل الرئيسية في ميكانيك وفلسفة الشرق في العصر الوسيط، وقد احتلت مكاناً هاماً في المقالات التي لها خصائص عامة كما خصص لهذا الموضوع أبحاث خاصة وقد افترض الباحثون فيها تصورات عن العلاقة بين المحرك والمتحرك الذي يمكن أن ينظر إليه كتطور لنظرية فيلوبون (القوة المتحركة)، هذا من جانب، ومن جانب آخر تنتسب إلى نظرية الدوافع وهذا ليس غريباً من النظرة الأولى، فهي واحدة من أقدم النظريات المشابهة التي ترجع إلى ابن سينا الأرسطوطاليسي. يصادف أول تلميح عن القوة المحركة في فكر فيلوبون عند العالم البغدادي ياهي بن عدي في النصف الأول من القرن التاسع الذي افترض أن حركة (الجسم المنطلق) تحصل بسبب (قوة) تدفعه، وتعطي الجسم إمكانية بلوغ الحركة حتى النهاية ثم تتبدد. إن نظرية ابن سينا موضوع الكتاب المذكور أعلاه (كتاب الشفاء) وضع فيها في البداية نظرية خاصة، ثم نظر بإسهاب إلى أربع نظريات أخرى، وفيما بعد يعود ليقف مطولاً على الأسباب التي حملته إلى هذا العمل. وهناك نظريتان تم شرحهما عند الحديث عن النظريات الأرسطوطالية. أما النظرية الثالثة فتشرح حركة الجسم بعد إطلاقه، حيث أن الجسم المطلق يكسب الجسم المنطلق لحظة الإطلاق قوة ما، يحتفظ بها أثناء الحركة حتى اللحظة التي لم ينفصل فيها بعد (بالسعي الطبيعي) للجسم نحو الأسفل ومقاومة الوسط لم تبدأ ولم يتوجه الجسم بعد نحو الأسفل (من السهل التعرف على هذه النظرية قريبة من نظرية فيلوبون). واتفاقا مع النظرية الرابعة ينظر إلى حركة الجسم كعملية لانهائية. في هذه المرحلة تتحول إلى مرحلة الارتياح. وتفسر إمكانية الحركة بعد الإ تياح بأن الجسم يحتفظ (بالسعي) إلى الحركة التي تظهر في المرحلة اللاحقة. وقد انتشرت هذه النظرية على نطاق واسع في الشرق في العصر الوسيط. وترجع النظرية الخامسة إلى ابن سينا نفسه. فحسب رأيه تستمر الحركة في الجسم

المقذوف لأن المحرك (الدافع) يكسبه بعض (السعي) الذي يخفف من الحركة. وا إذا كان الجسم غير متحرك، عندها ينظرالى (السعي أو الميل) كانعدام المقاومة في الجسم الثابت، وعندما يدخل الجسم مرحلة الحركة (على سبيل المثال السقوط تحت تأثير الثقالة)، فإن هذا الميل يساعده على الاستمرار في الحركة، بغض النظر عن المقاومة التي يمكن أن تنشأ في طريقه. ويستخدم ابن سينا أحياناً في هذا المعنى مصطلح (كسب) أو (تخزين) القوة. علماً أنه يميز منذ البداية بين مفهوم (السعي) أو الميل ومفهوم (القوة المحركة)، وتكمن في ذلك إحدى الميزات الحقيقية التي تتميز بها نظرية ابن سينا عن نظرية فيلوبون. وحسب رأي ابن سينا فإن (السعي أو الميل) هو أداة "قوة" تكسب الجسم الحركة، وتقوم بذلك بمساعدة "السعي أو الميل" ومن جانب آخر فإن (السعي أو الميل). يستمر في بقائه في الجسم ليس بعد تأثير (القوة) مباشرة، وا إنما خلال كامل الوقت الذي تستمر فيه الحركة.

وينظر ابن سينا إلى ثلاثة أشكال من (السعي) (الميل)[١]، الميل العقلي (النظري) والميل (الطبيعي) والميل (القسري) للحركة (الطبيعية) في الجسم الساقط التي تتشكل بمساعدة (السعي الطبيعي)،

من خلال واسطه التي تظهر (ثقل الجسم). والحركة القسرية هي سبب الحركة (خلافاً للطبيعة) وبشكل خاص حركة الجسم المنطلق. ويتعلق تأثير (السعي) بوزن الجسم المتحرك. وقد حاول ابن سينا أن يبين القيمة الكمية. (للسعي القسري) أو (القوة المسجلة) مثبتاً أن الجسم الذي أعطي القوة ينقل (السعي) المعطى، ويتحرك بسرعات متناسبة عكساً مع وزنه، أما الجسم المتحرك بسرعة معطاة فإنه يقطع (بغض النظر عن مقاومة الوسط). مسافة متناسبة مع وزنه. وكما بينا سابقاً أن ابن

---

(١)الميل حرفياً (السعي) أو الانحدار هو مصطلح يستخدم في معنى الميلان، وخاصة ميل دائرة فلك البروج. ويستخدم في حالتنا هذه بمعنى أقرب إلى المصطلح اليوناني PONN الانحراف رغم أن المصطلح اليوناني حول الحركة الطبيعية فقط.

سينا رفض إمكانية وجود الخلاء. ويستخدم مفهوم (السعي القسري) كحجة في عدم إمكانية الحركة (القسرية في الخلاء). وحسب رأيه فإن هذا (السعي) أثناء الحركة لا ينعدم ولا يتناقص بدون مقاومة (في الخلاء). لذلك فإن الحركة (القسرية) التي يشكل (السعي)منبعاً لها يجب أن تتحرك إلى اللانهاية، وهذا يتناقض مع التجربة.

يمكن أن تعد نظرية ابن سينا وبدون أدنى شك كمرحلة لاحقة ومتطورة عن دراسة فيلوبون. ومن الواضح أن ابن سينا لم يعتمد على الشروح والتعليقات المحفوظة عن فيلوبون في الكتاب الرابع (الفيزياء) لأرسطو فقط، ولكنه استخدم شروحاً وتعليقات لأرسطو في الكتاب الثامن الذي لم يصل إلينا، ومن الممكن أنها كانت موجودة في عصر ابن سينا وباللغة العربية.

لقد وردت نظرية ابن سينا بطريقة معدلة في أعمال أحد تلامذته وهو أبو البركات البغدادي (القرن الثاني عشر)، الذي يتمسك بهذه النظرية، ولكنه لا يتوافق مع ابن سينا في عدة مسائل. ففي البداية وخلافاً لابن سينا فإن البغدادي يقر بوجود الخلاء، الذي يمكن أن تتشكل فيه(القوة القسرية). وحسب رأي البغدادي أن الحركة (القسرية) في حال انعدام المقاومة الخارجية لا يمكن أن تستمر إلى اللانهاية، فهي تنتهي بمجرد انتهاء اتصال (السعي القسري) بالجسم. وعلى هذا الأساس فإن البغدادي يحدد ثلاثة عوامل تتوافق مع انتهاء الحركة: ١ – مقاومة الوسط – ٢ – الثقالة الطبيعية التي تتوافق مع انتقال الحركة أثناء السقوط الحر.

٣ – التلاشي التدريجي(للسعي القسري) الذي يتزايد كلما ابتعد الجسم عن منبع الحركة.

أما التباين بين وجهة نظر ابن سينا ووجهة نظر البغدادي فتتعلق (بالسعي) الطبيعي وكيفية وصوله إلى الجسم المتحرك. ويفترض ابن سينا أن الجسم يكتسب في كل لحظة جديدة شكل من شكلي السعي: إما (قسري) أو (طبيعي). ففي حالة حركة الجسم المندفع (قوة) يكسبه المحرك (سعي قسري)، أما الثقالة فتكسبه السعي (الطبيعي)، ولكن السقوط الطبيعي للجسم يحول الحركة (القسرية) المتجهة عمودياً إلى الأعلى أو تحت زاوية معينة مع الأفق، وذلك بعد أن تتلاشى قوة (السعي

القسرية) بشكل كامل، ويصبح الجسم المدفوع بحالة السكون الآلي[١]. وبعد هذه الوقفة الآنية فقط تكسب (الثقالة) الجسم (السعي الطبيعي) ويبدأ الجسم بالسقوط.

وقد افترض البغدادي تفسيراً آخر. وكان منطلقه أن الجسم المدفوع يتواجد بآن واحد في تضاد من حيث التأثير (السعي). ففي المرحلة الأولى عندما يخضع الجسم للحركة العمودية إلى الأعلى أو تحت زاوية ما مع الأفق، يسود فيه (السعي القسري). ويلعب (السعي الطبيعي) دور المقاومة، كعامل مخفف من الحركة (القسرية). ومع استمرار حركة الجسم فإن (سعيه القسري) يتلاشى تدريجياً، أما (السعي الطبيعي)، ويبدأ الجسم بالسقوط. ويظهر (السعي القسري) الذي يسير بطريق التلاشي مقاومة أضعف من المقاومة (الطبيعية) أثناء سقوط الجسم. ويتحدد مقياس (السعي الطبيعي) للجسم بحجمه (وثقالته). وبهذا الشكل يفسر البغدادي التباين في سرعة طيران حجرين مقذوفين بيد واحدة وبقوة متساوية. فالحجر الأكبر يطير بسرعة أقل من الحجر الأصفر، وذلك لأنه منذ البداية يسيطر (السعي الطبيعي)، الذي يقاوم (السعي القسري) الذي تسببه قوة يد الرامي.

وهكذا فإن البغدادي ينطلق من إمكانية وجود نوعين من السعي في الجسم متعاكسين من حيث المنشأ والتأثير ومتواجدان بوقت واحد، وهذا مكنه من التوصل إلى تفسير التسارع في حالة سقوط الجسم. وقد قدم البغدادي افتراضاً آخر: ينتقل (السعي القسري) من المحرك إلى المتحرك في بداية الحركة وهذا حقيقة. وأثناء عملية الحركة تتناقص هذه القوة حتى تتلاشى، وفي هذه اللحظة تبدأ الحركة الطبيعية بالتزايد على حساب ثقالة الجسم عند الانتقال من الحركة القسرية إلى حالة السقوط الحر، وتبدأ بإكساب الجسم قوة أكبر للسعي الطبيعي. ومع اقتراب الجسم من مكانه

---

(١) القصور حول نقطة السكون اللحظي(mediaquies) جاءت من أفلاطون وأرسطو، وكانت قد قدمت لتفسير التحول من حركة أولى إلى حركة ثانية لاحقة، ومتعلقة مع صعوبة فهم وشرح الاستمرار كحركة بحد ذاتها وكذلك قيم متعلقة بها.

الطبيعي فإن سعيه الطبيعي يتزايد بشكل مستمر، ومع هذا التزايد تتزايد سرعة الجسم (ويذكرنا هذا الرأي بتفسير سقوط الجسم عند كيبارة).

وكذلك حصل تطور آخر لهذه التطورات في اسبانيا، فقد قام العلماء في اسبانيا بالعثور على نظرية ابن سينا، كما قدموا العديد من الشروح والتعليقات على كتابات أرسطو،ففي شرح آلية نقل الحركة نجد تأييداً قوياً لنظرية أرسطو (البريباتية) من قبل ابن رشد، كما تمسك بهذه النظرية تمسكاً قوياً العالم ابن باجة. كما كان ابن طفيل[1] من أنصار نظرية ابن سينا اللاحقين. وهذا بدوره كان له تأثير على تلميذه البطروجي الذي استطاع أن يقدم موديلاً. نموذجياً) لحركة الأجرام السماوية.

يضع البطروجي في مقدمة بحثه (أسس علم الفلك) الأسس الديناميكية التي اقترحها بالنسبة للآلية الكينمائية، التي تتحرك الأجرام السماوية فيها على شكل كرة منتظمة، والتي تقع على مسافة ثابته من مركز الأرض الثابت، وهكذا فأن حركة هذه الأجرام تتحدد بحركة قطبي هذه الكرة (التفصيل حول هذا الموضوع سيأتي في الفصل الخامس). ومنطلقاً من الأوضاع الأساسية في فيزياء أرسطو التي تتركز حول فكرة أن لكل حركة لا بد من وجود محرك ومتحرك، وهذا يعني أن لكل حركة محرك خاص بها وهكذا. والبطروجي في تفسيره لحركة الأجرام السماوية في ذلك العصر استخدم البراهين القريبة من هذا المفهوم والتي اعتمد عليها كل من فيلوبون وابن سينا في شرح (الحركة المكانية). وانطلاقاً من هذه الأسس فإن حركة الكرات السماوية تحدث تحت تأثير (قوة) مكتسبة من جسم (أعلى)، ويقارن البطروجي حركة هذه الكرات السماوية بطيران الحجر أو القذيفة، التي تستمر بحركتها بفضل (القوة) المحفوظة فيها بعد انفصالها عن منبع الحركة، وتضعف تدريجياُ كلما ابتعدت عنه. وفي العالم العلوي (الجسم العالي) يكسب الجسم الواقع تحته (القوة) التي تعطيه الحركة (الكرة العليا تكسب الحركة للكرة الواقعة داخلها، وهذه بدورها تكسبه للكرة التالية، و هكذا). وتضعف هذه القوة كلما ابتعدت الكرة عن الجسم الأعلى. ومع انتقال هذه (القوة) من كرة إلى كرة أخرى فإن

(١) تحدث البطروجي حول هذا الموضوع. فيقول أن ابن طفيل كان الوحيد بين العلماء الإسبان العرب البارزين الذي استند إلى نظرية ابن سينا واستشهد بها.

هذه (القوة) تسير في طريق الضعف والتلاشي، وبالتالي فإن الحركة تسير بنفس الضعف التدريجي حتى تصل إلى سطح الأرض، عندها تكون وصلت إلى مرحلة السكون.

بهذا الشكل يلخص البطروجي القوة المحركة وكيفية انتقالها من جسم إلى آخر، وبالتالي إلى اللحظة التي تخمد وتتلاشى فيها نهائياً. وفي نهاية المطاف يفقد الجسم القوة المحركة والحركة بشكل كامل. مثل هذا الجسم في طبيعته على تضاد مع الجسم الأعلى. وينطلق البطروجي في هذه المناقشة العقلية بشكل خاص من المذهب الأرسطوطلي لأشكال الحركة المتلاحقة، ولكن ليس من الجسم إلى الوسط(المركز)، وا إنما من الجسم إلى جسم آخر. أما عن مصدر هذه الحركة فينطلق من (القوة المحركة) الفيلوبونية. رغم أن البطروجي يستشهد بأفكار أرسطو وبطليموس فقط في إثباتاته، فإن أفكار فيلوبون وابن سينا مؤثرة عليه بشكل واضح.

أما الدور الحقيقي في تطور نظرية حركة الأجسام القابلة للحركة، ومشكلة إمكانية الحركة، وبشكل خاص حركة الجسم في الخلاء، فترجع إلى المناقشات العلمية المستمرة التي جرت بين ابن رشد(مؤيد للنظرية الأرسطوطاليسية) و ابن باجة حول (فيزياء) أرسطو.

وحسب رأي ابن رشد فإن العالم المادي لانهائي الأبعاد من حيث الزمان، ولكنه محدود من حيث (المكان)، أما المادة في رأيه فهي شاملة ومصدر أبدي للحركة. وكذلك فإن الحركة أبدية ومستمرة (سرمدية)، وهكذا فإن لكل حركة جديدة أسباب سابقة. وكذلك فإن الزمن موجود ولا يمكن قياسه إلا من خلال الحركة فقط. إن فلسفة ابن رشد تتعارض مع العقيدة الإسلامية، وقد واجه انتقاداً شديداً من رجال الدين. ولكن هذه الفلسفة لاقت انتشاراً واسعاً في أوروبا الغربية في مطلع عصر النهضة، وقد ساعدت على دراسة المذهب المادي عند أرسطو هناك.

وبالعودة إلى مفهوم عملية نقل الحركة، فإن ابن رشد يقارنها بعملية انتشار الأمواج المائية، على شكل حلقات عندما يلقى في الماء حجر، وينطلق من هذه الحالة إلى حالة التشابه بين وسطين، وهما الهواء والماء، وسجل خاصتي الضغط والمرونة. ومثل هذا الانتشار الحلقي للأمواج افترض ابن رشد أنها تحدث داخل الماء أيضاً. ومن هذا المنطلق يخرج بنتيجة مفادها أن ذرات الوسط السائل لها قابلية الاختلاط فيما بينها،لكن هذا الإختلاط هو جزئي: ويمكن أن يلاحظ على سطح الماء، أن هذه الحركات الحلقية لا تشوش على بعضها البعض. وتحدث في الهواء ظاهرة مشابهة أثناء حركة الجسم المتحرك وا يقافه عن الحركة في النهاية. فلو لم تكن عملية الاختلاط الجزئي (الضغط) موجودة لانتقلت الحركة نظرياً حتى حدود الكون ثم تجاوزتها(لانهائية). وا ذا كانت الحركة كاملة (أي الوسط عديم المرونة) فلا وجود لأي نوع من نقل الحركة: وا نما تنزاح من الوسط كتلة مساوية لكتلة الجسم المتحرك فيه فقط. (وبشكل عام، يجمل ابن رشد قوله بأن حركة السهم في الهواء مشابهة إلى حد كبير لحركة القارب والأمواج التي ترافقه. مثل هذه الحركة لا يعترف بها إلا كحركة وحيدة، رغم أنها في حقيقة الأمر هي نتيجة الحركة التموجية التي تحدث في الماء. ويقف ابن رشد مع مجموعة العلماء المعارضين لإمكانية وجود الخلاء.

وكما نعلم فإن تعليقات ابن باجة على (فيزياء) أرسطو كانت مفقودة إلى فترة قريبة. ولم تعرف نظريته إلا من خلال المقتطفات التي وردت من خلال نقد ابن رشد له. ولم تعرف إلا في السنوات الخمسين من القرن الحالي. وبافتراض أن الحركة ممكنة في الخلاء فإن ابن باجة يكرر حرفياً البراهين التي تدعم ذلك والتي وردت عند فيلوبون، نافياً أن سقوط الجسم الثقيل في الخلاء يجب أن يمر بسرعة قصوى. ويؤكد ابن باجة على أنه حتى في الخلاء فإن الجسم الذي لا يتعرض إلى مقاومة، يمكنه أن يتحرك بالسرعة القصوى. وبهذا فبغض النظر عن انعدام المقاومة فإن الجسم يجب أن يقطع مسافة محددة. وبدلاً من السرعة والكثافة فإن ابن باجة يحدد القيم الراجعة (المعاكسة) وهي التباطؤ والرقة أو الشفافية: علاقة (شفافية الماء) حسب رأي ابن باجة هي كما هو الحال بين علاقة (التباطؤ) في حركة الجسم في الماء وبين

(تباطئه) في حركته في الهواء. مثل هذه السرعة الخاصة للسقوط في الخلاء،هي متشابهة بين جميع الأجسام وتتعلق على (كثافتها). ولكن ابن باجة لم يثبت ذلك.

ويرى ابن رشد أن الخطيئة الرئيسية التي وقع فيها ابن باجة أنه افترض إمكانية تراكم (تجميع) وتناقص (طرح) التسارع و (التباطؤ) للأجسام، على غرار ما يتم(في المستقيمات). وا إن (التأثير حسب القيم الموجودة فعلياً . ويقوم ابن باجة بعملية الإنقاص (الطرح) من الحركة الكاملة، وليس من(الحركة الطبيعية الموجودة فعلياً. وفي حقيقة الأمر لا يمكن طرح (نزع) أي شيء من شيء غير موجود أصلاً، والمقصود هنا الحركة التي لم تتحقق في الواقع. ونقطة الضعف في استدلال ابن رشد (والتي استخدمت وعلى نطاق واسع من قبل المؤلفين الأوروبيين) من الواضح: أنه إذا لم يكن ممكناً التأثير على السرعات، عندها من الممكن تماماً جمع وطرح فواصل زمنية، كما فعل ذلك فيلوبون على سبيل المثال.

وتشكل آراء ابن باجة الموضوعة في شروحه وتعليقاته على الكتابين السابع والثامن (الفيزياء) لأسطو اهتماماً خاصاً حول فكرة العمل بميكانيكية النقل. وتتألف هذه الآراء من التالي: يتعرض الجسم (المحرك) الذي يكسب الحركة لجسم آخر(المتحرك) بدور ه إلى تأثير الجسم الثاني. ويظهر هذا التأثير في (الإعياء) الذي يحل بالجسم المحرك بعد الاتصال مع الجسم المتحرك. وبالنسبة للجسم المحرك أو بكلمة أدق المحرك هو الروح بالنسبة للجسم المتحرك (وبهذا الشكل تمثل هذه العملية الجسد والروح). وبالنسبة للمحرك الأول غير المحرض هو (القوة المحركة) التي يكسبها للجسم المتحرك. وعملية الإعياء في الجسم المحرك يمكن أن تحصل ذاتياً، ويمكن أن تكون نتيجة للجهد الضائع الذي يبذله الجسم المتحرك نتيجة مقاومته.

وكما نرى فإن ابن باجة يعزي آلية نقل الحركة إلى العلاقة المتبادلة بين قوتين متعاكستين قوة المحرك) التي تتشكل نتيجتها (العطالة)، وقوة المتحرك التي تظهر من خلال المقاومة التي يبديها هذا الجسم المتحرك.

بهذا الشكل نلاحظ أن آلية نقل الحركة تعزى إلى(تأثير) المحرك، وا إلى مقاومة المتحرك الذي يؤدي إلى (عطالة) المحرك. كما أن الجسم الذي يكسب الحركة القسرية يمكن أن يشكل (عطالة)، أما الجسم الذي يتحرك تلقائياً حركة (طبيعية) فلا تتشكل العطالة فيه. ولهذا فإن سرعة الجسم (في الحركة الطبيعية) تتحدد بخواصه الداخلية (التي لا يمكن إبطالها) فقط، وهي (قوة المحرك) الموجود داخل الجسم ويدفعه إلى مكانه الطبيعي، ويمكن أن تظهر مقاومة هذه الحركة من الوسط الذي يعبره الجسم. فإذا انعدمت مقاومة الوسط (على سبيل المثال في الخلاء)، عندها فإن (قوة المحرك) تستمر ولا تتغير. وهنا بالضبط يكمن سبب الحركات الأبدية المكاملة للأجرام السماوية في مداراتها الدائرية. أما في الحركة القسرية (قوة المحرك) وقوة (المتحرك) (المقاومة) فواحدة من حيث طبيعتها. ويكمن الاختلاف بينهما من الناحية الكمية فقط، ولهذا فهاتان القوتان متناسبتان (إلى حد ما نظرياً). وفي هذه الحالة فإن (قوة المحرك) أكبر من (قوة المتحرك)، وهذا ما تفسر به حركة الأخير أي المتحرك (وبكلمات محددة تصبح الميكانيك والفلك م-١١ يكون (التأثير) أكبر من (المقاومة فقط). وهذه النظرية لابن باجة (من أولى النظريات) التي حاول استخدامها في أبحاثه عن حركة الجسم المائل على المستوى الأفقي.

ومن الطبيعي أن يتبادر سؤال حول إمكانية ابن باجة من تضمين كتابات سابقيه في أبحاثه عن (العطالة) و (التأثير) أو المقاومة. لقد شاهدنا كتابات مشابهة عند فيلوبون (في شرح سيمبليكي)، وعند ابن سينا وعند أبو البركات البغدادي. ولكن لا توجد أية إشارة لهم في كتابات ابن باجة. وفي الحقيقة أشار ابن باجة إلى الاسكندر الافروديسي على الأغلب، حيث كان مشهوراً كبيراً، ويمكن أن يعد سلفاً لفيلوبون. ولهذا فإن السؤال عن مصدر هذه التصورات تبقى غير معروفة حتى الآن. وحتى هذه المعلومات المختصرة عن نظريات الدفع، التي تحدثنا عنها قبل قليل، تظهر أنها قريبة من نظريات وتصورات فبلوبون. وا إن آراء علماء العصر الوسيط في الشرق، استطاعت أن تلعب دوراً محدداً في نشوء هذا المفهوم. لذلك فإن السؤال

المطروح هو كيف نشأت هذه النظريات في أوروبا في العصر الوسيط، وما هو دورها في تشكل نظرية الدفع. كشروح وتعليقات فيلوبون لم تكن قد ترجمت إلى اللغة اللاتينية بعد، وبقيت مجهولة بالنسبة للمؤلفين الأوروبيين خلال العصر الوسيط. وعلى كل حال عندما ظهرت الدراسات حول نظرية الدفع في أوروبا، كانت المعرفة عن نظرية فيلوبون قليلة جداً، واقتصرت على مقاطع مترجمة من قبل سيمبليكي فقط. وأصبح من الطبيعي الآن أن نفترض أن العلماء الأوروبيين تعرفوا عليها من خلال الترجمة أو من أعمال علماء الشرق. وقد ترجم إلى اللغة اللاتينية كتاب (الشفاء) تحت اسم (Liber de Sufficientia) لابن سينا، ولكن بشكل مختصر (ترجم الجزء الأول فقط، ويعد مادة أساسية لها علاقة مع مشكلة نقل الحركة، كما يوجد قسم آخر غير مترجم) وفي الوقت نفسه ينوه إلى ابن سينا واحد من أنشط مؤيدي الدراسة عن الدفع، وهو ألبرت الكبير (القرن الرابع عشر). وكذلك لم يكن بحث البغدادي معروف في أوروبا، ولكن عرفوا بشكل جيد بحث البطروجي الذي ترجم إلى اللاتينية عام ١٢١٧ ميلادية.

بدأت تتشكل نظرية الدفع في أوروبا في العصر الوسيط في القرن الثالث عشر. ويعد توما الأكويني من أوائل الذين تصدوا لهذا المفهوم. وقد تعرض توما الأكويني إلى موضوع (القوة المحركة المحفوظة في الجسم المنطلق. وفي نهاية القرن الثالث عشر تكلم بيتر إيون أوليف على أن المحرك يكسب المتحرك (قوة تستقر فيه) (كنوعية) وحيدة حددها (كسعي نهائي للحركة). ومن المميز أن أوليف لم يستعمل بعد مصطلح (الدفع)، وا إنما استخدمت عبارة Inclination Violenta وهي الترجمة الحرفية للكلمة العربية(الميل القسري) ((السعي القسري)) التي استخدمها ابن سينا. وفي صالح تأثير النظريات الشرقية فإن نظرية البغدادي قريبة إلى درجة كبيرة من الموضوع الذي أثبته بوريدان نفسه. وفي كل الأحوال فإن طرق وصول هذه الآراء والتصورات إلى أوروبا، مرت عبر إسبانيا وجنوب إيطاليا. وأن دراسة هذه المواضيع بدقة أكبر على أساس المصادر والمراجع التي لم تنشر بعد وهو عملنا المستقبلي.

الفصل الخامس

علم الفلك في الشرق في العصر الوسيط

الكينماتيك السماوي (الحركة السماوية)

ذكرنا سابقاً أن علم الحركة الهندسية للأجسام لم ينفصل عن علم الفلك في العصور القديمة، لذلك صممت الأجهزة من أجل تفسير الحركة في القبة السماوية، أي حركة الأجرام السماوية. واستمر هذا الاتجاه دون أن يطرأ علية أي تغيير في علوم الشرق في العصر الوسيط. لذلك فقد كان كل ماله علاقة مع تطور نظريات الحركة الهندسية للأجسام في الشرق في العصر الوسيط له علاقة مباشرة مع علم الفلك.

وكان هذا الوضع هو القاعدة العامة للكتاب في محاولاتهم وضع النتائج العلمية في مجال الحركة الهندسية للأجسام ضمن التطور العام لعلم الفلك في الشرق في العصر الوسيط.

علم الفلك الهندسي:

تعرضنا عند الحديث عن علم التوازن والميكانيك إلى كتابات عدد من علماء الشرق الأوسط والأدنى، ولم نتعرف على ماكتبه العلماء الهنود. في الحقيقة لانعرف أي الأبحاث الهندية، يتصدى لهذا الجانب من العلوم. أما بالنسبة لتاريخ الرياضيات فهناك وضع آخر (لن نتعرض لهذه المشكلة في الكتاب). أما بالنسبة لعلم الفلك، الذي نتصدى له الآن، فتاريخه في الهند ليس له أهمية خاصة بحد ذاته، وذلك لأن: علم الفلك الهندي كما ذكرنا سابقاً نشأ

تحت النظرات الفعلية اليونانية في استخدام الأجهزة من أجل نمذجة (وضع موديلات) حركة الأجرام السماوية، هذا من جانب، ومن جانب آخر ظهور التأثير الحقيقي للطرق البابلية على علم الفلك الهندي، هذه الطرق التي انتشرت بشكل واضح في الفترة الساسانية ووصلت حتى جنوب الهند. وهذا كله شكل جانباً هاماً في علم الفلك في البلدان الناطقة باللغة العربية.

توجد أقدم المعلومات عن علم الفلك الهندي في الكتابات الفلسفية الدينية، بالإضافة إلى الأساطير المحبوكة عن نشأة الكون، والأناشيد التي تدور حول آلهة الأرض، والتي تعظم الشمس كمصدر للحياة، كما أنها تحتوي على تلميحات عن حادثتي الكسوف والخسوف، ومعلومات عن القمر والكواكب، وفهرس عن منازل القمر، ومفهوم الشهر القمري، وتقويم شمسي قمري. أما المصادر الدقيقة عن تاريخ علم الفلك الهندي فترجع إلى القرنين الثالث والرابع ميلادي. وهي خمس مقالات (سيد هانتا)[١] فلكية تقليدية (كلاسيكية)، درست وعلق عليها وعمل بها لعدة قرون.

وأقدم هذه الدراسات وأكثرها دقه بايما تهي – سيدهانتا (دراسة بايماتهي) أو دراسة – براهما). كتبها براهما، وهي أقرب إلى المؤلفات الجدولية، وتأتي بعدها من حيث التسلسل الزمني ((دراسة فاشيشتها)) (فاشيشتها – سيدها نتا)، نسبة إلى أحد الحكماء الخرافيين فاشيشتها، الاسم نسبة إلى أحد نجوم مجموعة الدب الأكبر.

وهذه الدراسة أكثر دقه من سابقتها. وتكمن الأهمية الكبيرة بالنسبة إلى لتاريخ الفلك في أبحاث ثلاثة أخرى هي ((دراسة بوليا)) التي تقع في صلبها حسب شهادة البيروني كتابات باولوس أحد فلكيي الإسكندرية في القرن الرابع. والدراسة الثانية هي ((دراسة روماكا) ومن تسميتها تظهر علاقتها مع العلوم اليونانية[٢]، والدر اسة الأخرى هي ((سوريا سيد هانتا)) (دراسة الشمس). ولم يصل إلينا من هذه الدراسات إلا

---

(١) سيد هانتا: وتعني دراسة.

(٢) روماكا (ريميليان) كلمة أطلقها الهنود على اليونان – البيزنطيين.

واحده وهي ((سوريا – سيد هانتا)) من خلال عدد من الروايات. وينسب علماء العصر الحالي هذه الدراسة إلى القرن الرابع ميلادي.

تعرضت جميع هذه الدراسات (سيد ها نتا) إلى شرح وتعليق عليها مفصل من خلال البحث الذي قدمه في القرن السادس الفلكي الهندي فاراها ميهير تحت اسم ((بانتشار سيد هانتا)). وتعد هذه الدراسة من أقدم الدراسات التي قدمت معلومات عن المصادر الأولى، التي فقدت بشكل كامل في بعض الأحيان، أو لم تحفظ بشكلها الأصلي أحياناً أخرى. إضافة إلى ذلك فإن ((البانتشا – سيد ها نتا) هي المصدر الأساسي عن علم الفلك الهندي، والتي صنفها البيروني في دراسته عن الهند. وترتبط السيد هانتا ارتباطاً قوياً مع الدراسات الفلكية الموجودة في الأريابها تا الأول (القرن الخامس – السادس). (والأريابهاتا) هما بحثان لبراهما جوبتا (القرن السابع)، (البحث الأول براهمار سفرتا – سيدهاتتا) والثاني (كها ندا كها دياكا)). وقد وصلت إلينا الكتابات الفلكية الهندية التي ترجع إلى فترة متأخرة للفلكيين الهنود:

مثل بهاسكارا الأول (القرن السابع)، اريابهاتا الثاني (القرن العاشر)، بها سكارا الثاني (القرن الثاني عشر وغيرها).

بالنسبة لمسألة علم الفلك العملي عند الهنود وصلت إلى مفهوم العلاقة الوظيفية بين مجموعتين من القيم. وقد كان الانعكاس البياني، وكذلك الطرق المثلثاتية واضحة في أبحاثهم، والتي كانت على شكل قواعد حسابية مثلثاتية موضوعة على شكل قصائد شعرية. كانت الدراسات الهندية (سيد ها نتا) كما هو الحال بالنسبة للأبحاث روماكا (ريميليان) كلمة أطلقها الهنود على اليونان البيزنطيين، حيث الفلكية المتأخرة تحتوي إلى جانب النهج المحلي على مادة علمية تشهد على التأخر القوي لعلم الفلك الهلنستي. وبدون أن نتعمق في بحثي (سيدهانتا) فإن تسميتهما تشير مباشرة إلى التأثير اليوناني عليهما، وظهور هذا التأثير بشكل قوي في دراسة الشمس (سوريا –سيدهانتا)، ويظهر هذا التأثير أيضاً في كتابات فاراها ميهيرا وغيره من الفلكيين الهنود.

والشيء الهام بالنسبة لعلم الفلك الهندي هو رغم معرفة العلماء الهنود الجيدة بالطرق اليونانية المبكرة للتصاميم الفلكية، ومعرفتهم للأوتار المثلثية، فقد استخدموا في علم الفلك الكروي وفي حل المسائل الحسابية الدقيقة قواعد حسابية تتوافق مع التصاميم البيانية ((أنالم)). أما قاعدة الفنومونيك (جيب الزاوية) فقد كانت موجودة في أساسيات الطرق الهندية لحل المثلث، كما بقيت قواعد حل المثلثات على أساس الأوتار المثلثاتية الموجودة في ((المجسطي))، ولم يثبت في العلوم الهندية وخاصة في علم الفلك الهندي أنهم تحولوا من الوتر إلى نصف الوتر، أي انتقلوا من الوتر إلى جيب الزاوية. وأطلقوا على خط حبيب الزاوية اسم (أردها جيف) والمعنى الحرفي لهذه الكلمة هو نصف قوس البصلة. وقد وضعت في الهند بشكل خاص بداية علم المثلثات لدراسة عن القيم المثلثية، التي لها علاقة مع أضلاع وزوايا المثلث.

إن أول إشارة إلى جيب الزاوية موجود في (سوريا – سيد هانتا) (دراسة الشمس) وفي ((أريابهات)). وكذاك عرف الهنود أيضاً جيب التمام للزاوية (تجب)، أي القيمة ١= cosa. وتحتوي معظم الأبحاث الفلكية التي سبق ذكرها على جدول مثلثات. فعلى سبيل المثال تحتوي جداول اريابهات على ٢٤ قيمة لكلا التابعين (الدالتين) وبفاصل ٣ و٤٥، ابتداء من ٣ و٤٥ وحتى ٩٠، ونصف قطر يعادل ٣٤٣٨ وتنعكس كلا الدالتين في الجدول في أجزاء الدائرة، وليس في أجزاء القطر كما كان مستخدم في علم الفلك اليوناني. وتحتوي القائمة (الجداول) أيضاً على أعمدة للتباينات الأولى والثانية من أجل تحديد قيمة الفواصل للتوابع (الدالات). وتؤدي معظم العلاقات التابعيه بين القيم الفلكية، والمعطاة على شكل قواعد كتابية من أجل إقامة المنحنيات البيانية إلى حساب المؤثرات اللاحقة فوق أنصاف الأقطار، والجيوب، وجيوب التمام (قيمة 1- cosa)، والتي يتم الحصول عليها من خلال التصاميم الأرتوغنالية. وبهذه الطريقة تم الحصول على قاعدة مكتوبة من أجل تحديد ارتفاع الشمس التي وردت في (سوريا – سيدهانتا) على سبيل المثال. ظهر تأثير ((المجسطى)) بشكل كبير على الجداول الهندية في حركة الأجرام السماوية، الموضوعة على شكل موديلات مركزية، وموديلات لامركزية، ولكن بطليموس

استخدم تصميم الدالات المثلثية، التي كانت معروفة بالنسبة له. ولهذا فإن قيم خطوط الجرم السماوي على سبيل المثال في الجداول الهندية قريبة من القيم الموجودة في جداول حركة الأجرام السماوية في ((المجسطي)).

ولكن تعرف علماء الهنود على النظريات الفلكية اليونانية للعصر الذي سبق بطليموس لعب دوراً هاماً في النماذج (الموديلات) الهندية لحركة الأجرام السماوية. وتوجد في الأريابهاتا تصاميم ترجع إلى كيباره، وليس إلى بطليموس. كما يظهر تأثير علم الفلك الهلنستي على السيد هانتابشكل واضح، وا ٍن الشروح الهندية للطرق اليونانية في النمذجة الكينماتية – الهندية خضعت كاملة في تشكيلها المستقل إلى الكثير من الاتجاهات بالنسبة للثوابت الرقمية، وكذلك في النظرية العامة. ومن مقارنة (سوريا –سيدها نتا) مع ((البانتشاسيدهانتا)) يتبين أن مثل هذا التغيير كان مستمراً، ولكن باتجاه تعميق وتبسيط منظومة بطليموس وتوسيع النظريات الفلكية التي ترجع إلى نفس الشريحة الهلنستية القديمة من العلماء. ومن الجانب الآخر فإن دراسة السيدهانتا تساعدنا في الافتراض على أن الذي وضعها كان على معرفة بالاستخدامات البابلية لفلكيي العصر السلوقي. ويمكن أن تفهم فصول كاملة في ((البا نتشاسيدهانتا)) إذا ما قورنت مع النصوص البابلية، وبخاصة مقارنه ما تحويه من توابع (دالات) متدرجة. ويرجع ذلك إلى أدوار أساسية وبعض البارامترات (القيم).

المصادر باللغة العربية:

إن المجموعة الأساسية من المصادر عن علم الفلك في العصر الوسيط في الشرق الأدنى والأوسط هي الزيج[1]، والزيج هو تجميع لجداول هندسية وفلكية ولقواعد حل مسائل علم الفلك التطبيقي، ويوجد في الزيج مقدمه قد تكون طويلة أو قصيرة، وتحتوي على شرح للوحه العالم والمعلومات الأساسية في الرياضيات وبشكل أساسي علم الفلك المثلثاتي والكروي والتقويمي وجداول جغرافية، بالإضافة إلى جداول

(١)إن كلمة زيج من الواضح أنها من أصل فارسي. واعتباراً من مطلع العصر الوسيط في إيران وحتى الفتوحات العربية أطلق على الكتابات الفلكية كلمة زيج.

عن حركة الشمس والقمر والكواكب. وتنعكس العلاقات التابعية في الزيج على شكل جداول ونصوص. وغالباً ما تترافق القواعد المكتوبة بشروح للجداول، وأحياناً تصادف بشكل مستقل، وذلك لأن عدد الجداول من الزيج تكون عادة أقل بكثير من التوابع المقدمة، وفي معظم الحالات تترافق القواعد ببراهين هندسية. وقدمت الجداول على شكل ست عشرة منظومة.

يمكن تصنيف التوابع الواردة في الزيج في ثلاث مجموعات رئيسة:

١- التوابع المثلثية. ٢- توابع علم الفلك الكروي. ٣- التوابع التي تفسر حركة الأجرام في القبة السماوية والهام فيها ما استخرج من هذه المجموعات فمن المجموعة الأولى للتوابع ((دالة) استخرجت الجيوب (سينوس) وظل التمام (المعنى الحرفي للكلمة هو الظل الثاني أو الظل المستوي)[1]. وتترافق جداول الجيب (السينوس) عادة مع جداول ((جيب التمام)). وفي تركيب الزيج لا بد أن تدخل ((معادلة اليوم)) وهي الفرق بين توقيت شروق الشمس على خط عرض ما وبينه على خط الاستواء، وكذلك ((علامة الزمن)) أي الفرق بين التوقيت الشمسي المتوسط والتوقيت الفعلي. ويستخرج من المجموعة الثالثة عدم التساوي الشمسي (علاقة المركز)، كما يستخرج خط الطول المتوسط وخط الطول الحقيقي للشمس، وخط الطول لنقطة الأوج الشمسية. ويحتوي كل زيج تقريباً على جداول لخطوط الطول وخطوط العرض للقمر والكواكب الخمسة. وكذالك جداول البارالاكس[2] للقمر حسب خطوط الطول وخطوط العرض، وكذلك توجد جداول تحتوي على زمن حدوث حادثتي الخسوف والكسوف، وجداول عن سرعة الشمس وسرعة القمر على مدارهما، إضافة إلى ذلك تستخرج

---

(١) بالتميز عن الأولى أو الظل الدوار، أي التانجات، تتابع بوضوح المصطلحات بالنسبة للظل وظل التمام علاقتهما مع الفنومونيك.

(٢) البارالاكس: هو التغير الظاهري في مواقع النجوم الثابتة. ويرجع هذا التغير الظاهري بالأصل إلى اختلاف موقع الأرض الذي يقدر بحوالي ١٦٨ مليون ميل كل ستة أشهر (المترجم).

أحياناً قيم كل من الكسوف والخسوف لجزء من قرص الكواكب والزمن الذي يستغرقه في الظلام.

ولكن الزيج لا يحتوي دائما على الدراسات النظرية والبراهين، ولكن في جميع الأحوال فإن الجداول نفسها هي نتيجة المراقبة الفلكية والعمل النظري للمعطيات التي تم الحصول عليها من المراقبة، التي تساعد على تصميم نموذج (موديل هندسي للحركة واستعمالاته، التي استخدمت في الحصول على علاقة عددية بالنسبة لبارومترات هذه الموديلات.

إن القسم الأعظم من الزيج موضوع وفق نموذج (مثال) ((المجسطي)) أو تحت تأثيره المباشر، وقد ترجم ((المجسطى)) إلى اللغة العربية في القرن التاسع ميلادي (الترجمة الأولى قام بها سهل الطبري (القرن التاسع) والحجاج[١] (في القرن الثامن – التاسع). ويرجع إلى هذه الفترة ظهور الشروح والتعليقات الأولى على كتاب ((المجسطي)). ولكن ظهرت قبل هذه الفترة (القرن الثامن) الترجمات للسيدهانتا الهندية.

تحمل إحداها اسم ((السيد هانتا الكبير)) الذي قام بترجمته إبراهيم الفزاري (إبراهيم بن حبيب، أبو اسحق المتوفي عام ٧٧٧م – المترجم) وابنه محمد بن إبراهيم الفزاري[٢] (المتوفي حوالي ٨٠٠ ميلادي)، الذي يعد واحداً من الفلكيين المعروفين والمصممين لعدد من الأجهزة الفلكية. وقد عمل الأب وابنة في بغداد ((دار الحكمة في عهد الخليفة المأمون. لذلك فإن مجموعة كبيرة من الزيج،

---

(١) الحجاج بن يوسف بن مطر. قام بترجمة ((المجسطي)) عام ٨٣٠ (توفي عام ٨٣٥م) عن نسخه مكتوبة باللغة السريانية – المترجم) .

(٢) إبراهيم الفزاوي، أبو اسحق بن سامورا توفي عام ٧٧٧م. أول فلكي عربي صنع الاصطرلاب، وكتب عنه وعن التقويم. وكان يعقوب بن طارق المنصوري (أحد خلفاء بني المؤمن الموحدين) قد قابل هندياً يدعى كانهة، الذي رغب المنصور في كتاب السيد هانتا، فأمر المنصور محمد بن إبراهيم الفزواي الذي كان على علم بالهندسة والرياضيات بترجمة هذا الكتاب (المترجم).

وخاصة القديمة منها من حيث الزمن، تحمل في طياتها بصمات التأثير الهندي المباشر.

إضافة إلى التأثيرات الهندية، ظهر وبشكل واضح تأثير الكتابات حول التنجيم في إيران الساسانية. وقد قيل الكثير من الثوابت والطرائق الحسابية في أبحاث الناطقين باللغة العربية في صالح هذا الاتجاه. ويشاهد هذا الرابط المباشر بها في كتابات الخوارزمي وأبو معشر (القرن التاسع)، وفي كتابات عالم الفلك المسيحي في العصر العباسي الأول ابن هيبينت (القرن العاشر). وما يطلق علية أسم زيج الشاه، وهي أكبر كتابات من هذا النوع، وقد كتبت في عهد حكومة خسرف الأول الساسانية (القرن السادس ميلادي وكتبت باللغة البهلوية (الفارسي الأوسط)، وكثيراً ما يستشهد بها البيروني. وظهرت على هذه الكتابات التأثيرات الهندية بشكل واضح، إضافة إلى تأثير الطرق اليونانية ما قبل البطليموسية من الغرب.

وهناك العديد من الأزياج تحمل بصمات المؤثرات البابلية المباشرة. ويقدم البيروني في إحدى كتاباته على سبيل المثال طريقة يطلق عليها هو الطريقة البابلية، وتنتهي هذه الطريقة إلى الدالة (التابع).

ويعرف في الوقت الحاضر أكثر من ١٠٠ زيج ترجع إلى الفترة الواقعة مابين القرن الثامن والقرن الخامس عشر ميلادي، منها حوالي ٢٠ زيجاً موضوعة على أساس المراقبة الشخصية للمؤلفين.

الأجهزة الفلكية:

تكشف المصادر المكتوبة والتنقيبات الأثرية عن شبكة واسعة من المراصد الثابتة المنتشر ة على مساحة واسعة تمتد من البيرينية وحتى شمال الهند في القرن التاسع وحتى القرن الخامس عشر. وهناك معلومات تشير إلى أن هناك أجهزة في بعض المحطات تعود إلى فترة أقدم بكثير من هذه الفترة، وكانت تستخدم المعابد عادة كمركز رصد فلكية. وكان تصميم هذه المعابد في دولة بابل على شكل مدرجات ملتوية. وقد اكتشف على أراضي خوارزم القديمة في آسيا الوسطى

أثناء التنقيبات الأثرية، معبد مخطط بشكل دائري، يرجع إلى القرن الرابع قبل الميلاد واستخدم هذا المعبد في القرن الرابع ميلادي كمحطة للمراقبات الفلكية. وتأكيداً لهذا الكلام فإن اتجاه هذا المرصد (نحو نجم فوما لغوت الذي يلعب دوراً هاماً في تقويم العمل الزراعي في آسيا الوسطى وا يران، وهذا الدور يشبه الدور الذي يلعبه سيروس في التقويم المصري). فمن خلال درجي المعبد المبنيين بشكل متناظر ممكن مراقبة شروق وغروب الشمس يوم الاعتدالين. وهذه المراصد المتخصصة والموزعة على مساحات واسعة لم تنه دور المراقبة الميدانية. وحول هذه النقطة على سبيل المثال يشير البيروني إلى ذلك بشكل مباشر. فخلال حياته حاول استخدام مختلف لوسائل من أجل إجراء المراقبات الفلكية رغم تعريضه لبعض المخاطر.

لقد قام علماء الشرق في العصور الوسطى بتحسين وتطوير مختلف الأجهز ة التي كانت موجودة من قبلهم كما قاموا بتصميم أجهزة جديدة من ابتكارهم. وكان لجميع فلكيين الفترة الواقعة بين (القرن الثامن والقرن لخامس عشر ميلادي) أعمالاً مكتوبة عن الأجهزة الفلكية بشكل خاص، ابتداء من عرض في وصف الأجهزة الخاصة، وانتهاء بعرض عام عن الأدوار المستخدمة على نطاق واسع في المجالات العلمية الفلكية، ومن أكثر هذه الأبحاث شهرة دراسة الاصطرلاب والمزولة، التي صممت من قبل علماء العصر أمثال الصاغاني (القرن العشر) (أبو حامد الصاغاني توفي حوالي ٩٨٩م. المترجم)، والسجزي (القرن العشر – الحادي عشر) (هو أبو سعيد بن محمد بن عبد الجليل المترجم)، والزر قالي (القرن الحادي عشر (هو أبو اسحاق إبراهيم بن يحيى التجيبي النقاش يعرف بابن الزرقاله توفي في قرطبة عام ١٠٩٩م المترجم)، والبيروني (القرن العاشر – الحادي عشر) الذي قدم مؤلفاته في خمسة أبحاث تتصدى للأجهزة الفلكية وكيفية العمل عليها، وابن عراق (الأمير أبو نصر منصور بن علي ابن عراق. المترجم) (القرن العشر – الحادي عشر)، والطوسي (القرن الثالث عشر) و ابن الشاطر (القرن الخامس عشر) وميرم جلبي (القرن السادس عشر) وكان لهذه الأجهز ة مهمات مختلفة: فهي من أجل المراقبة

المستمرة في المراصد، ومن أجل القياس والمراقبة في الأبحاث الحقلية والميدانية. وغالباً ماكان يطلق على الأجهزة الفلكية في القديم اسم الأجهزة الرياضية. ولا بد من الأخذ بعين الاعتبار أن هذه الأجهزة كانت مخصصة من اجل حل المسائل الفلكية، أما سبب جدواها وفعاليتها فكونها مصممة على أساس القوانين الرياضية. ومن أكثر الأجهزة انتشاراً في العصر الوسيط في الشرق هي الأجهز ة الشمسية نموذج الغنومون (العفريته) والمصممة على أساس قياس قيمة واتجاه الظل في أوقات معينة من الزمن، حيث أن الظل ينعكس على سلم مدرج على عقربته عمودية، حيث قسم السلم إلى ١٢ إصبع (قسم) على الطريقة الهندية، وفي بعض الأحيان يقسم إلى ٦٠ جزءً ، كما كان يفعل اليونانيون. وطريقة القياس كما يلي: يرسم ظل الفنومون (العفريته) المتحرك على سطح الجهاز منحنيات، على شكل قطاعات مخروطية (اهليلجية، وفي حالة خاصة دائرة، وقطع زائد وقطع مكافئ)، أي يشكل خطوطاً يتقاطع من خلالها سطح الجهاز مع المخروط الدائر ي المائل، أما رأس المخروط فيتطابق مع رأس الفنومون، وتشكل القاعدة دائرة الحركة الظاهرية للشمس في القبة السماوية. وبما أن ظل العفريته يشكل في المستويين الأفقي والعمودي الظل وظل التمام (تانجات وكوتانجانت) فيمكن أن تستخدم العفريتة كجهاز زاوي (مزولة). وقد صممت العفريته على أساس التصميمات الممكنة للساعات الشمسية، وتستخدم بشكل عام وعلى نطاق واسع من أجل حل مختلف المسائل الفلكية: مثل تحديد دائرة نصف النهار لارتفا ع الشمس، وخط العرض لنقطة ما، وموقع بلدان العالم وغيره.

إن الشرح المفصل لهذه الأجهزة المتنوعة الأشكال موجودة في كتاب ((المساحة)) (الجيوديزيا) للبيروني. ووضع العفريته ليس على مستوى الأفقي فقط، إنما يشرح البيروني تصميم تتحرك فيه العفريته داخل كره، ولا يتطلب في هذه الحالة إرسال الظل في الكرة، إنما مبدأ هذا التصميم على أساس اختيار وضعية للعفريته ينعدم فيها الظل بشكل عام. وتحدد ثلاث نقاط خلال اليوم، ثم نبحث عن نقطة القطب التي تمر خلال دائرة تجمع النقاط الثلاث، بحيث يقع هذا القطب تحت سمت القطب الشمالي. ويعطي هذا الجهاز إمكانية لتحديد خط عرض المكان المطلوب

بسهولة. وحتى اختراع البوصلة، استخدمت العفريته وعلى نطاق واسع في تحديد مواقع بلدان العالم، وكان هذا التحديد شرطاً ضرورياً من أجل ((القياسات الأخرى)). ففي كتاب ((القانون المسعودي في الهيئة والنجوم)) للبيروني يقدم ثمان طرق في تحديد مواقع البلدان بمساعدة العفريتة.

ولتحديد الزمن على سطح جهاز العفريته (غنومون) أقيمت ((خطوط ساعية)) تتوافق مع ساعات زمنية متساوية (جزء من اليوم) وساعات غير متساوية (من أقسام اليوم المضيئة والمظلمة). وفي تقسيم الساعات المتساوية جرى الحساب الزمني على أساس المراقبة الفلكية. وبهذا الشكل توفرت الإمكانية لتحديد الفرق (التباعد) بين خطوط الطول لمركز ين سكنين تراقب فيهما حادثة الخسوف القمري، وذلك إذا نجحت عملية تحديد لحظة منتصف الخسوف في كل منها بدقة. استخدم هذا الجهاز وفي وقت واحد كل من أبو الوفافي بغداد والبيروني في اورجنتش عاصمة خوار ز م. والفرق بين التوقيت المحلي لكل من البلدين في لحظة منتصف الخسوف يعطي الفرق المطلوب بين خطي الطول. أما التقسيمات الساعوية غير المتساوية فقد استخدمت لتحديد مواعيد الصلاة، وبشكل عام في معرفة التوقيت المحلي بالنسبة للسكان. وقد تم قياس ارتفاع الشمس وميلانها، وذلك بمساعدة أجهزه خاصة، حيث تمر الأشعة الشمسية من خلال ثقوب مخصصة لذلك، ثم تسقط هذه الأشعة على سطح محدد حمل عليه سلماً مدرجاً تشير التدريجات إلى درجة ميلان الشمس على المستوى الأفقي. ومثال على مثل هذا النوع من الأدوات يمكن ذكر الآلة السداسية (الفهريف)، التي صنعها الخجندي (أبو محمود حامد بن الخضر من كبار علماء الهيئة، له كتاب الاله الشاملة في الفلك، قام بحساب دائرة البروج وبلغت ١٢ ٢٣ ٢٣ بربع أحد أضلاعه مقسوم على ثواني...)) المترجم) والتي شكلت نموذجاً رائعاً من نموذج الآلة السداسية في مرصد أولغ بك في سمرقند. وقد كتب البيروني مقاله خاصة عن هذا الجهاز. وقام بوصف نموذج آخر، تسقط الأشعة من الثقوب على سطح مقعر على السطح الكروي أما الشكل الثاني من الأجهزة التي كانت منتشرة في الشرق في العصر الوسيط فهي الديوبتر، حيث يقسم القسم الرئيسي منها إلى درجات

الدائرة أو على شكل ربع دائرة. ويدور اليداد حول المركز مع ديوبترين اثنين، بهدف رؤية الجرم المراد قياس ارتفاعه. ويكون القسم الأكبر من الأليداد على شكل مسطرة وتشير المصادر إلى أن هناك اليداد دائرة على شكل قرص، يدور إلى اللحظة التي يتطابق فيها مع الحلقية الموضوعة في مستوى خط الطول. وأقدم هذه الأدوات زمنياً هي الأدوات التي كانت في مناطق آسيا الوسطى. وتعد الأقراص والحلقات الفخارية ذات الترقيمات (التقسيمات)، التي عثر عليها أثناء عمليات التنقيب الأثري، من الأدوات المشابهة للأدوات التي استخدمت في مراصد معبد خوارزم القديمة. وبشكل أدق فإن المادة التي صنعت منها هذه الأقراص والحلقات تتماثل مع الجهاز الذي وصفة البيروني في كتابه ((القانون المسعودي))، والذي قدمه كجهاز مشابه لجهاز بطليموس. كما يذكر البيروني جهازاً آخر من هذا النوع استخدمه الصوفي (هو أبو الفتح عبد الرحمن بن عمر محمد بن سهل. المترجم) في شيراز والصاغاني في بغداد (القرن العاشر كما يتحدث أيضاً عن المراقبات الخاصة بمساعدة مثل هذا الجهاز في اورغنتش عام ١٠١٦، وفي غزنه في عام ١٠١٩م. ويرجع إلى هذا النموذج من التصاميم الجهاز الذي وضعة البيروني هو ((الآلة السداسية)) التي تستخدم في تحديد خط عرض القمر وخط عرض المواقع والأماكن على أساس غروب النجوم. وهناك أجهزة معقدة التصميم غير الأليداد ذات الديوبتر المستخدمة من اجل الرؤيا. فهناك نمازج لوضع الدوائر السداسية للكرة السماوية وأبسط أنواع هذه الأجهزة هو كرة الأرميليار التي استخدمها بطليموس ويرجع إلى ما قبل هذه المجموعة من الأجهزة، جهاز الاصطرلاب الذي كان أكثرها شهرة في الشرق وفي أوربا في العصر الوسيط. والاصطرلاب هو جهاز محمول على شكل علبة مسطحة قطرها بين ١٠ – ٥٠سم، يمكن أن تعلق بواسطة حلقة وخيط. وهو دمج بين جهاز ين الجهاز الزاوي (ظهر الاصطرلاب)، وهو حلقة مدرجة بتر قيمات زاوية مع البداد على شكل مسطرة ذات ديوبتو والمؤشر (الوجه المقابل). يتألف الوجه المقابل من قرص ثابت أو النقار ة، يرسم عليه على شكل إسقاط ستيريوغرافي (مجسم) خطوط ونقاط الكرة السماوية، بحيث يبقى وضعها ثابتاً عند دورتها اليوميه (الأفق والخطوط الموازية، أو

المقنطرات، والسمت، ونظير السمت وغيرها)، ويرسم على القرص المتحرك، الشبكة (شبكةالعنكبوت)، التي يرسم عليها دائر ة لبروج وأكثر النجوم وضوحاً. ففي حالة الإسقاط الستيريوغرافي للكرة السماوية من القطب الجنوبي (مصدر الضوء – المترجم) نحصل على ((الاصطرلاب الشمالي))، وفي الحالة المعاكسة نحصل على ((الاصطرلاب الجنوبي)).

بهذا الشكل يصنع الأفق مع خط الاستواء السماوي زاوية مقدارها خط العرض الذي يقع عليه الجهاز ويضاف إليه ٩٠ ، وتتشكل هذه الزاوية على القرص الثابت نتيجة إسقاطات هذه الزوايا. لذلك جهز القرص الثابت (النقارة) على أساس حسابات دقيقة ومحددة لكل خط عرض معين. كما أقيمت تحت الأفق على القرص الثابت خطوط ساعوية. ويضاف عادة مجموعة (طقم) من الأقراص الثابتة والمحسوبه لعدد من خطوط العرض ورسم على ظهر الاصطرلاب، إضافة إلى الأليداد والتقسيمات إلى درجات زاوية التي تساعد في تحديد ارتفاع الجرم، أربعة أرباع الدائرة (مزاول) وهي: ربع السينوس (إلى الأعلى واليسار لحساب الجيب وجيب التمام للأقواس، واثنين سفليين لتحديد الظل وظل التمام، وربع أعلى اليمين ((ربع الارتفاع)) لتحديد ارتفاع الجرم.

كانت أشكال تصميم الاصطرلابات متنوعة جداً. ولكن القسم الأكبر منها صمم للكرة السماوية بحيث يكون مصدر الضوء أحد قطبيها، وفي وقت لاحق ظهرت التصاميم التي يكون فيها مصدر الضوء في نقاط أخرى، إضافة إلى تصميم الإسقاطات الستيريوغرافية من نقطتين متقابلتين قطرياً للكرة السماوية، أي تصميم الاصطرلاب الشمالي والجنوبي. وضعت أوصاف مثل هذه الاصطرلابات التي صممها السجزي، ووضعها البيروني في بحث خاص، كتب حول تحضير واستخدام الاصطرلابات (هو كتاب منازعة أعمال الاصطرلاب. اله الميكانيك والفلك م–١٢ الاصطرلابات حسب شكل الشبكة (العنكبوت) فيها: فهناك نموذج الطبلة، ونموذج الكأس، زهرة شقائق النعمان وغيرها. ويرجع إلى السجزي الاصطرلاب المكوكي (المغزلي) الذي رسمت فيه دائرة البروج ومواقع الأجرام على القر ص الثابت (النقارة)،

أما على القرص المتحرك فقد رسمت الأفاق التي تتوافق مع عدد من خطوط العرض، والتي تظهر بعد الرسم على شكل المكوكي (المغزلي) ومن هنا جاءت التسمية.

وكذلك يشرح البيروني اصطرلاب الصاغاني الذي صمم على القرص الثابت (النقارة) الكرة السماوية ومن عدة نقاط بالنسبة لمحور الكون. وأقصى درجات الكمال في تصميم الصاغاني نجدها في الجهاز الاسطواني للبيروني نفسه، والذي صممه على أساس المسقط الاورتوغرافي (العمودي) للكرة السماوية على امتداد أحد قطريها.

وترجع الطريقة الأصلية (المبتكرة) في تصميم الاصطرلاب إلى القرن الحادي عشر ميلادي، التي قدمها العالم العربي الأسباني الزر قالي. ففي هذا الاصطرلاب ظهرت دوائر الكرة السماوية على شكل إسقاطات ستيريوغرافية (مجسمة) منبعثة من إحدى نقطتي الاعتدالين على مستوى كوليور الانقلاب الشمسي. وفي هذا الاصطرلاب صمم القرص الثابت بحيث يمكن استخدامه لأي خط من خطوط العرض، ويمكن بمساعدته كذلك الانتقال من نظام معين للإحداثيات الكروية إلى نظام آخر. ومن أكثر التصميمات للاصطرلاب اقتصاداً هو الاصطرلاب الخطي (الاقتصاد من حيث التركيب والإجراء)، المصمم في نهاية القرن الثاني عشر، على يد العالم الفلكي الطوسي (هو شرف الدين المظفر بن الطوسي، وشخصيته علمية غير نصير الدين الطوسي. ولد شرف الدين في طوس، ورحل إلى بغداد ودمشق، من كتبه الجبر والمقابلة، معرفة الاصطرلاب المسطح والعمل به، رسالة في الاصطرلاب الخطي) توفي عام ١٢٠٩م. المترجم) (وسمي اصطرلابه عصا الطوسي)، ويتألف عصا الطوسي من محور استناد مع ثلاثة خيوط (الشاقول، والوتر والمقنطرات) وعدة سلالم مرقمة ومحمولة على المحور. ويشكل المحور قطراً عمودياً على القرص الثابت بالنسبة للاصطرلاب العادي.

يمكن بمساعدة الاصطرلاب تحديد عدد من المسائل في مجال علم الفلك التطبيقي مثل: تحديد الإحداثيات الكروية للأجرام السماوية، وحساب القوس الفائت (المنصرم) من اليوم، وتحديد لحظة شروق ولحظة غروب الكواكب، حساب التوقيت في الساعات المتسوية والساعات غير المتساوية وغير ها. كذلك حلت بمساعدة الاصطرلاب سلسة من المسائل الجيوديزية (المساحية) مثل: تحديد بعد النقاط والأماكن التي لايمكن الوصول إليها، تحديد ارتفاع الجبال، وارتفاع الأبنية والتلال، التي لا يمكن الوصول إليها، تحديد عمق الأنهار والآبار وغيرها.

كما يشرح البيروني في بحثه المذكور تصميماً لتقويم ميكانيكي اخترعه بنفسه، يمكن أن يستند على ظهر ه (تقويم مكتب – المترجم)، ويشكل بداية للاصطرلاب. ويتألف التقويم من حلقة يعادل قطرها قطر الظهر، ومجموعة مؤلفة من ثمان حلقات ذات محاور أغطية وثقوب وتدريجات تتحرك عليها مؤشرا ت. يبين تقويم البيروني وضع الشمس على دائرة البروج خلال دورتها السنوية، والقمر خلال دورته الشهرية، بالإضافة إلى منازل القمر وكذلك يساعد هذا التقويم في إيجاد أماكن تطابق وتباين هذه الأجرام (الشمس والقمر)، أي تحديد الكسوف الشمسي والخسوف القمري. ويساعد هذا في تحضير مايسمى ((بقرص الكسوف والخسوف)) بالإضافة إلى الطرق التي شرحت آنفاً في قياس الزمن فيمكن قياسه بواسطة الشمس والنجوم، وبواسطة الساعات المائية والرملية التي استخدمت على نطاق واسع. وان شرح كيفية تحضير واستخدام هذه الساعات عرضت في فصل خاص من كتاب الجزري. كما ينوه البيروني في عرضه للكتب عن بحثين متخصصين في تحضير وتجهيز الساعات لم يصلا إلينا. بالإضافة إلى ذلك فان الجزري كتب فصولاً متخصصة في الجيوديزيا "علم النجوم".

لكن التصميم الهام والمبتكر للساعات المصنعة خصيصاً من اجل المراقبة الفلكية، هي الساعات التي شرحها الخازن في كتاب " موازين الحكمة " وقد سميت بالساعة المتوازنة (لم يكن الخازن ميكانيكياً صرفاً ، وا ٕنما كان واحداً من اكبر فلكيي عصره). يشكل تصميم الساعة المتوازنة لموازين متوازنة العواتق (الأذرع) وموازين غير متوازنة العواتق. وتتألف من ذراع على شكل شريطين (سكتين) متوازيين، مع

صنجتين (ثقلين) تتحركان على امتداد كل من السكتين، واحدة فيهما كبيرة والثانية صغيرةوساعات مائية أو رملية تعلق على إحدى نهايتي الذراع مكان كفة الميز ان والأوزان في الموازين العادية.

إن الساعات المائية أو الرملية في هذا التصميم تكون على شكل علبة طولية الشكل، مع حلقات من اجل التعليق، ولها ثقب بحيث أن الماء أو الرمل يمر من الثقب الموجود في حجر، وحجم هذا الثقب بمقدار يحقق شروط معينة، بحيث يمر من الثقب خلال دورة واحدة لخط الاستواء السماوي وخلال درجة واحدة كمية محددة من الماء أو الرمل. ويجب أن تكون درجة حرارة الماء وتركيبه ثابتين، لذلك توضع الساعات في أماكن درجة حرارتها ثابتة. وفي احد نهايات الذراع حلقة مع سلك معلق في كلابة (خطاف) في السقف، وفي وضعية بحيث يحافظ على وضعية التوازي مع المستوي الأفقي. ويختار وزن الذراع ووزن الصنجة والوعاء مع الرمل أو الماء بطريقة معينة. ويوجد على السكتين سلمين (تدريجات) من اجل الثقلين الكبير والصغير وتكون تقسيمات هذين السلمين بالدرجات والدقائق والساعات. وكان استخدامها في ذلك الوقت على الشكل التالي: في بداية اللحظة الأولى لحساب الزمن يفتح الثقب المجود في الحجر. فيمر الماء ويفقد الميزان (الساعة) حالة التوازن. ومن اجل إعادة توازنه وبعد فترة من الزمن لا بد من تحريك الصنجات باستمرار بما يتوافق مع عدد الترقيمات على طول الذراع، ففي البداية الصنجة الصغيرة، وفيما بعد الصنجة الكبيرة ما دامت الكرة السماوية لم تكمل الدورة الكاملة (٢٤ ساعة) أو ٣٦٠). وفي هذه الحالة يمكن للمراقب أن يحسب أي فترة زمنية، وذلك بمسك النهاية الحرة للذراع على الحلقة "المثبت" أو المرجع، ويسحب "المثبت" ويوازن الميزان وذلك بتحريك الصنجة ويؤخذ من خلال السلم الفترة الزمنية التي مضت وحتى لا تحدث فواصل أثناء حساب الزمن عندما يفرغ كامل الماء أو الرمل وملء الوعاء من جديد، يقترح الخاز ن أن يضاف إلى العمل ميزان آخر صغير مصمم على أساس ساعة زمنية واحدة أو درجة واحدة (خلال هذا الزمن يملا الوعاء) ومع مضي ساعة

يفتح الميزان للعمل من جديد (الميزان الأساسي)، وبهذه الطريقة تسهل عملية استمرار حساب الزمن.

إن ميزان الساعات للخازن ما هو إلا دليل واضح على المستوى الرفيع للتقنية التجريبية والمراقبات الفلكية في الشرق في العصر الوسيط.

لوحة العالم – التقويم:

تبدأ معظم الازياج (جمع زيج) بوصف " لتركيب الكون " – أي اللوحة العامة للكون. ويستمر فيها المؤلفون بشكل أساسي مع طريقة بطليموس، ومفهومه عن الكون. فالأرض هي مركز الكون حسب تصوراتهم. وهي محاطة بمادة رقيقة هي الأثير، أما في الأثير وابتداء من سطح الأرض فتوجد سبعة أجرام كروية متوضعة فوق بعضها البعض على شكل طبقات البصلة وحسب التتابع التالي: كرة القمر، عطارد، الزهرة، الشمس، المريخ، المشتري، زحل، مع ضرورة إيجاد حركاتها الداخلية وشوذها. وقد فهمت هذه الكرات أحياناً كأشكال هندسية (نظرياً)، وأحياناً أخرى كأشكال مادية. ويرتبط كل كوكب بكرة من الكرات، وضمنها تتم حركة الكوكب الخطية والمدارية، حركة حسب خطوط الطول وحركة حسب خطوط العرض. ويحيط بهذه الكرات الكوكبية كرة نجمية مادية هي الكرة الثامنة (السماء الثامنة) (المكونة من الكريستال الخالص)، وهي كرة النجوم الثابتة التي تكمل دورة يومية حول قطبي الأرض. ويقع في هذه الكرة " المحرك الأول " الذي يكسبها، كما يكسب بقية الكواكب الحركة. والسؤال المطروح الآن، ماذا يوجد بعد السماء الثامنة؟ ترك الفلكيون هذا السؤال مفتوحاً تاركين حلة للفلاسفة.

إضافة إلى الأرض الثابتة، يوجد خط استواء سماوي ودائرة بروج ثابتين أيضاً، مع نقطتين ثابتتين هما نقطتا تقاطع الاستواء السماوي مع دائرة البروج، وتشكل إحدى هاتين النقطتين نقطة الاعتدال الربيعي، وهي التي تعد بداية السنة المدارية. وحسب مفهوم النظرية المركزية (مركزية الأرض) فان جميع الأجرام تتحرك بصورة منتظمة على دوائر لا ينطبق مركزها على مركز الأرض. فإذا وصلنا بين المركزين بخط مستقيم واستمر هذا الخط المستقيم (نظرياً) حتى يتقاطع مع مدار الجرم، نحصل

على خط الابسيد[1] في إحدى النهايتين (نقطة الأوج) التي يكون فيها الجرم على أبعد مسافة من الأرض، أما النهاية الثانية (الحضيض) فيكون الجرم على أقرب مسافة. وكانت أهم المشاكل المعقدة في علم الفلك في العصر الوسيط هي السؤال حول ما إذا كانت نقطة الأوج للشمس ثابتة أم لا، وا إذا كانت متحركة فما هي خاصية هذه الحركة؟.

تشغل مشكلة التقويم مكاناً هاماً في كتابات علماء الشرق في العصر الوسيط. ومن المعروف أن البيروني على سبيل المثال تصدى لها في فصل خاص في كتاب " القانون المسعودي " إضافة إلى مقالة خاصة حول هذه المسألة.

وتعد كتاباته من أكثر المصادر تفصيلاً حول هذه المشاكل، إذا ما أخذت من حيث الترتيب الزمني. وكما ذكرنا فقد خصص احد فصول "القانون المسعودي" للتصدي للمبدأ العام في وضع التقويم، وبشكل خاص التقويم الشمسي والتقويم القمري، وكذلك التقويم الشمسي القمري.

ويقدم البيروني بتفصيل واسع تسميات الأشهر وفق التقاويم الإسلامية واليهودية والهندية واليونانية والسريانية والقبطية والفارسية والسغدية والخوارزمية القديمة، أما بالنسبة للفارسية وجزئياً السغدية والخوارزمية فقد أضاف تسميات الأيام والأشهر.

وتوجد في "القانون المسعودي" واحدة من أولى التنويهات عن التقاويم الصينية والتركية القديمة. حيث يشار في كل تقويم إلى طول العام وبدايته.

ويشرح البيروني ثلاثة تقاويم رئيسية بشكل مفصل. هذه التقاويم التي استخدمت على نطاق واسع في البلدان الإسلامية وهي: التقويم الشمسي، وكانت بداية التأريخ منذ اعتلا العرش ايزديغرد الساساني الثالث (١٦ تموز عام ٦٣٢) وسمي بعصر الايزديغرد، والتقويم اليوناني السرياني الذي يبدأ ١ تشرين الأول عام ٣١٢ قبل الميلاد والمرتبط باسم الاسكندر المكدوني (عصر الاسكندر) أو "عصر السلوقيين، والتقويم القمري الإسلامي (التقويم الهجري)والذي يبدأ اعتباراً من هجرة

---

(١) الابسيد: هو المحور الكبير للمدار الاهليلجي.

النبي محمد "ﷺ" من مكة إلى المدينة في ١٦ حزيران عام ٦٢٢م. كما يشرح البيروني تقاويم شمسية أخرى. متباينة الأشكال استخدمت في بابل القديمة ومصر واليونان والرومان: عصر نبوخذ نصر، "عصر فيليب"، "عصر افغوست"، "وعصر انتونين" و"عصر ديوكليتيان".

وقد ترافق شرح هذه التقاويم بقواعد وجداول تساعد في الانتقال من عصر إلى عصر آخر. كما يقدم في كل تقويم قواعد من اجل تحديد السنوات الكبيسة. إضافة إلى معلومات أخرى يقدمها البيروني عن نظام تعداد التواريخ للخوارزمي الذي يعد مرجعاً هاماً في تاريخ آسيا الوسطى. ويشير البيروني إلى عدد من العصور الخوارزمية، أقدمها "عصر الاستعمار" الذي يرجع إلى ٩٨٠ سنة قبل الاسكندر (أي من بداية عام ١٢٩٢ ق.م) وعصر السيافوشا[١] (من ١٢٠٠ ق.م).

من الممكن أن هذه التواريخ وعلى مقياس معين تعكس الحوادث الفعلية التي حصلت، وتتوافق مع موجتين من السكان سكنت خوارزم: موجة شمالية امتدت على طول الساحل الشرقي لبحر اورال، وموجة جنوبية عبر شمال شرق إيران، وجنوب تركمانية، على امتداد مورغاب واوزبوي ونهر اموداريا. ويترافق شرح العصور مع معلومات هامة عن الاقتصاد والتقويم والأيام الهامة المرتبطة مع الأعياد والتقاليد والأعراف.

وتعد الجداول الزمنية قسماً ضرورياً من هذه الأبحاث حول التقويم " منذ بداية الخليقة ". فجدول البيروني يبدأ من تاريخ الكتاب المقدس، ويقدم معلومات عن الأسماء وسنوات الحياة للأشخاص وحكم البطاركة والقديسين ابتداء من آدم وحتى " الطوفان "، وما بعد الطوفان، والقياصرة البابليين، والقياصرة الخرافيين والحقيقيين لبابل وآشور وقياصرة الفرس من كير وحتى دار ا الثالث، والاسكندر المكدوني، وبطليموس وحتى كليوبترا، والأباطرة الروم والبيزنطيون، والنبي محمد (ﷺ) والخلفاء الراشدين، وعدد من خلفاء بني أمية والعباسيين. ويترافق التأريخ مع القصص المقدسة (عن

(١) سيافوشا – بطل خيالي، اله الفرسان. كانت عبادته منتشرة على نطاق واسع في خوارزم القديمة وسوغديان.

الخروج من مصر، وشمشون وغيره) والخرافات القديمة عن هيلانة الجميلة، والثلاثة الذين استولوا على الآخرين، والقصة السحرية عن القيصر التنين اجي داهاك وقتله على يد البطل الخرافي أمزيدون. ومعلومات عن القيصر الروماني نوم بومبيلا وتاريخه وا إصلاحه للتقويم، وحرب افغوست (آب) ضد مصر، وعن تخريب دور العبادة في القدس على يد الإمبراطور تيتوم، وعن نشاط الفلكي كلافديا بطليموس، وقصة الإنجيل حول صلب المسيح، ويقدم معلومات عن الكاتدرائية النيقوسية، وعن أصل السلالة الساسانية وغيره.

يوجد في معظم الجداول التأريخية في الزيج ما يطلق عليه اسم "قانون" بطليموس، الذي يحتوي على أسماء وسنوات حكم القياصرة ابتداء من عهد القيصر البابلي نبوخذ نصر (٧٤٧-٧٣٣ ق.م) وحتى عصر بطليموس، (عهد الامبراوطور الروماني هارد يانوس). واستمر فلكيوا الشرق في العصر الوسيط بجداول بطليموس حتى عصرهم، ولكن القسم الأول لم يحقق ولم يثبت، مثلاً الجدول التأرخي لزيج التباين (الزيج السابع)، لم يستمر البيروني في جدول بطليموس فحسب، وا إنما أكمله بمعلومات عن المصادر التي مكنته من الحصول عليها، وقدم ملخصاً واسعاً من المعلومات عن العلوم المعروفة باللغة العربية في عصره.

وغالباً ما اشرنا إلى عمر الخيام بدرجة معينة من المعلومات، فقد كان فلكياً مشهوراً، ومشرفاً على مرصد في أصفهان، وهو صاحب الجداول الفلكية الملكشاهنية (الموضوعة تحت إشراف السلطان السلجوقي ملكشاة).

وفي عام ١٠٧٤ م أوكل إليه إصلاح التقويم الشمسي الزور ارسترويسكي الذي كان فيه تعداد كل شهر ٣٠يوماً، وكان يضاف إلى أحد هذه الأشهر " خمسة أيام إضافية ". واستخدم التقويم القمري الإسلامي في العصر الوسيط في كل من إيران واسيا الوسطى في الوثائق الرسمية الدينية فقط.

أما التقويم الشمسي فقد استخدم في الأعمال الزراعية. وقد احتفظ حتى الوقت الحضر بعيد رأس السنة (النيروز أو عيد الربيع) في إيران، والذي يجب أن يتوافق مع يوم الاعتدال الربيعي حسب التقويم الشمسي.

ولحل مجموعة المسائل التي كانت تواجه عمر الخيام، قام أولاً بحل مسألة تحديد الموعد الدقيق لحدوث الاعتدال الفلكي، ثم اختيار نظام للسنة الكبيسة بحيث يتوافق فيها عيد النيروز مع حدوث الاعتدال الربيعي. وقد تم حل السؤالين على يد مجموعة مؤلفة من ثمان فلكيين ورياضيين، وقد استطاعت هذه اللجنة من تحديد يوم الاعتدال الربيعي بعد قيامها بسلسلة من المراقبات الخاصة، وكان تاريخ الاعتدال الربيعي في ١٥ آذار ١٠٧٩، هذا اليوم الذي استخدم كبداية لإصلاح التقويم (" عصر جلال الدين "). ومنذ ذلك اليوم حسبت الأعوام الشمسية بـ ٣٦٥ يوماً و ٣٦٦ يوماً. أما نظام تحديد السنوات الكبيسة فقد توافق مع كل ٣٣ سنة هناك ٨ سنوات منها كبيسة، ولكن في الواقع أن هناك في الـ ٣٣ سنة ٧ سنوات كبيسة فقط، ويكون تحديد السنوات الكبيسة كل أربع سنوات واحدة منها كبيسة وهكذا، ولكن السنة الكبيسة الثامنه تكون بعد خمس سنوات. وفي مثل هذا التناوب فان بداية العام لا تبتعد عن لحظة الاعتدال الربيعي أكثر من نصف يوم فقط. ويحدد هذا الدور الطول المتوسط للسنة بـ ٣٦٥ $\frac{8}{33}$ = ٣٦٥ر٢٤٢٤ يوماً. وفي مثل هذا النظام تكون نسبة الخطأ في جزء صغير من اليوم يتراكم كل ٤٥٠٠ سنة (الخطأ في التقويم الفريفوري المعمول به في الوقت الحاضر يوم واحد كل ٣٣٣٣ سنة).

ولكن الخيام لم ينجح بشكل كامل في تحديد نظام للسنة الكبيسة لسنوات طويلة في دورته الـ ٣٣ سنة[١].

---

(١) " يقول الخيام، الزمن لم يعط السلطان إمكانية لاستكمال هذا العمل، والسنة الكبيسة بقيت غير مكتملة ".

ومع ذلك فبالنسبة لدقة حساباته فهي دقيقة، وتبقى ملحوظة وهي انه لم يكن عنده حل لتصحيح كامل الحسابات بشكل دقيق، مع أن تقويم الخيام هو واحد من التقاويم الشمسية العالية الدقة.

الآلة الرياضية:

لقد توجت الشروط الضرورية لتطور الطرق القديمة، والعمل على إيجاد وسائل وطرق جديدة، في شرح حركة الأجرام السماوية، إلى درجة ميزت العصر الوسيط في الشرق بازدهار علوم (القرن التاسع – الحادي عشر) بوضع الآلة الرياضية، التي استخدمت الطرق المثلثاتية في مجال علم الفلك، وكعلم مستقل بحد ذاته. وللوقوف على تطور علم المثلثات في الشرق في العصر الوسيط، لا بد من المتابعة الدقيقة والواضحة إلى تقليدين أساسيين هما: التقليد اليوناني، والتقليد الهندي، اللذان يعدان الأساس في تطور هذا الفرع من العلوم في الشرق، بالإضافة إلى عاملين أساسيين لم يكن في البداية لأحدهما علاقة مع الآخر، وهما: الفنومونيك (علم الساعات الشمسية)، ودراسة خصائص الخطوط في الدائرة، هذه الخصائص التي وحدت في نظرية واحدة عبر مجرى التطور التاريخي للعلوم. علماً أن التقليدين والعاملين مرتبطين ببعضهما ارتباطاً متشابكاً. فالطرق اليونانية للتصميمات الارتوغونالية (العمودية) وصلت إلى الهند، وأصبحت تشكل هناك قواعد حسابية أساسية في الغنومونيك الهندي (الحسابات على أساس ظل الزاوية)، أما الأضلاع التي وضعها الهنود في حساب الجيب وجيب التمام، فقد ظهرت كأداة ضرورية في وضع جداول التوابع المثلثاتية وتوابع علم الفلك الكروي.

وتتكون بنية المثلثات كعلم في تقديم قيم مثلثاتية جديدة مع دراسة خواصها، وقد بدأ رياضيوا البلاد الإسلامية بالدخول فيها كمواضيع مستقلة في الرياضيات، ولم يربطوها بعلم الفلك مباشرة، وكذلك فلم يربطوا معها حل جميع حالات المثلثات المستوية والكروية.

وتبديل وتر بطليموس بالجيوب، وبالاعتماد على الطرق الحسابية الموجودة في "المجسطي"، وباستخدامهم لقاعدة الغنومون (المسقط) الهندي،

تمكن علماء البلدان الإسلامية من إدخال بقية التوابع المثلثاتية، ومهدوا لبداية في البحث عن خواصها، كما اوجدوا حلولاً لكافة الحالات التطبيقية للمثلثات المستوية والمثلثات الكروية، إضافة إلى ذلك وضعوا عدداً كبيراً من الجداول المثلثاتية وعلى درجة عالية من الدقة.

الأضلاع المثلثاتية. الجداول:

ترجع المحاولة الأولى في عرض عناصر المثلثات إلى الخوارزمي (القرن التاسع) ولأول مرة في تاريخ رياضيات البلدان الإسلامية. استخدم الخوارزمي الجيب. ووضع في زيجه قواعد تحديد الجيب من خلال قوس، واستخراج قوس على أساس الجيب. ولم يكن جدول الجيب الذي وضعه على أساس كل ٣°و ٤٥َ كما كان معروفاً في علم الفلك الهندي، وا نما على أساس البرهان على كل ١°. وعلى هذا الشكل اخذ مفهوم الجيب من الرياضيات الهندية، ووضع جدول الجيب (الخوارزمي) حسب مبدأ الجدول البطليموسي للوتر. وينظر الخوارزمي في مجموعتين من الأضلاع المثلثاتية، عملياً ليس هناك أي ارتباط بين إحداهما مع الأخرى هما: في الدائرة (الجيب وجيب التمام) اتفاقاً مع تقليد " المجسطي "، وفي المثلث القائم (الظل وظل التمام) المتفقة مع قواعد الفنوموتيك الهندي . وقد كان كل من الظل وظل التمام معروفين لدى زميل الخوارزمي في "بيت الحكمة" في بغداد حبش الحاسب (هو المروزي احمد بن عبد الله حبش الحاسب، لقب بالحكيم حبش، عاش أكثر منماية عام – المترجم). وبالنسبة للفنومون العمودي (المسقط) أدخل حبش مفهوم ظل التمام ("قطر الظل")، أي الأوتار في المثلث القائم، والأضلاع التي فيه وارتفاع الفنومون و " الظل المستوي " إضافة إلى جدول الجيوب في الزيج الذي أعده حبش ألحقت جداول الظل وظل التمام بفواصل (٠.٩٠°). مع البرهان خلال درجة واحدة (١°)، ويمكن اعتبار هذا العمل من أقدم الحالات في تاريخ علم المثلثات. وان الدقة في جداول الخوارزمي وحبش ليست اكبر من الدقة في جداول الأوتار البطليموسية.

وبهذا الشكل دخل الجيب والظل وظل التمام من خلال كتابات حبش الحاسب والخوارزمي مجال التطبيق العملي في الحسابات الفلكية. ولكن استمر استخدام الأوتار على مدى فترة زمنية طويلة إلى جانب الجيب في رياضيات البلاد الإسلامية، وفي بعض الأحيان استخدمت في بعض المقالات الجيوب والأوتار بآن واحد. وتبرز في هذا المجال مقالة البتاني (القرن العاشر)، (هو أبو عبد الله البتاني سماه البعض بطليموس العرب، ولد في بتان من ضواحي حران وتوفي عام ٩٢٩م وقد عمل في مرصد الرقة، لذلك كان يكنى بالرقي نسبة لها – المترجم) والمكتوب بتأثير التقليد اليوناني (وهذا سبب اعتماده على الأوتار في اغلب الأحوال) وفي الوقت نفسه يبدأ البتاني بالاستخدام المنتظم للخطوط المثلثاتية في الدائرة.

استخدم البتاني في الخطوط المثلثية الجيب وجيب التمام والجيب المقابل. ولكنه حسب الجيب بالنسبة لـ R = ٦٠ خلال °٣٠ وبدقة وصلت حتى ثانية واحدة. وقدم " الظل " بشكلين: بمساعدة الفنومون الذي يبلغ ارتفاعه ١٢ " إصبع "، وكخط في دائرة نصف قطرها °٦٠. ولكن من المشكوك فيه أن يكون البتاني قد فهم المفهوم المثلثاتي العام " الظل " وذلك لان استخدامه كان مقتصراً على تحديد ارتفاع الشمس. والشيء المميز والهام في طريقة البتاني ان العلاقات المثلثية عنده تبتعد عن الشكل الهندسي الأول، وتعتمد على خواص المعادلات الجبرية رغم انعكاسها الكلامي.

ان المساهمة الفعلية في تطور علم المثلثات هي التي قدمها ابن يونس (هو ابن يونس الصدفي المصري، ولد في مصر عام ١٠٠٩م، هو الذي اخترع رقاص الساعة قبل غاليليو، عمل في مرصد جبل المقطم قرب الفسطاط في مكان يقال له " بركة الحبش " – المترجم) (القرن العاشر)في احد ازياجه وقدم فيه فصلاً خاصاً عن " الأوتار والجيوب " وكما هو الحال عند البتاني فان ابن يونس يحدد الأوتار الرئيسية ويحسب جدولاً للجيوب من اجل R = ٦٠ (الجداول الستينية – المترجم) وببرهان خلال ١٠ وبدقة وصلت حتى ربع. واستخدم البتاني في بعض الحالات الأوتار إلى

جانب الجيوب. بينما اعتمد ابن يونس على الجيوب فقط وتوجد في زيجه جداول بفواصل َ١ و ً١.

ومن اجل حساب جيب١° يستخدم ابن يونس طريقة بطليموس مع إدخال بعض التحسينات عليها. ويبدأ من جيب ١٨° وجيب ١٥° وبمساعدة مجموع وفرق الجيوب وجيب الز اوية النصفية يحصل بالتالي على قيمة الجيوب:

٩;4° 45° ;1 7° 30′ = 9/8″ °

7 30° ;٣° 45 ;15′ 2° 30′ ;0″ 56° 15′ = 15/16″ °

والقيم التي حصل عليها للحدود من أجل جيب 1° تعادل $1, 2^{I}\ 49^{II}\ 40^{III}\ 4^{IV}$ و $1; 2^{I}\ 49^{II}\ 43^{III}\ 4^{IV}$

والقيمة النهائية للجيب 1° تعادل $1; 2^{I}\ 49^{II}\ 43^{III}\ 4^{IV}$

(وهذه القيمة لا تختلف عن القيم الحالية إلا بسبعة وربع وهذا ليس كبيراً).

وبالانتقال إلى " الظل " نجد أن ابن يونس يقوم بمحاولة تحديد الظل وظل التمام على شكل خط، ليس له علاقة مع الفنومون (المسقط)، وبالإضافة إلى الجداول التي تشبه جداول الخوارزمي والبتاني، يوجد في زيج ابن يونس جدول لظل التمام من اجل نصف قطر الدائرة ٦٠° وبفواصل للبراهين َ١٠.

بهذا الشكل اقترب ابن يونس من تحديد الظل كخط في الدائرة، ولكن لم ينظر له بعد مثل الجيب، كتابع مستخدم من اجل إيجاد مختلف القيم الفلكية. وقد تحاشى ابن يونس استخدام الظلال في الحسابات. وقد استخدم ظل التمام إضافة إلى تحديد ارتفاع الشمس، الذي ينتسب إلى مجال الفنومونيك (المساقط) في حالتين فقط.

لقد ارتبط مع العمل المبدع لكل واحد من هؤلاء العلماء بمرحلة محددة من تطور علم المثلثات: من ظهور جداول الجيوب والظلال عند الخوازمي وحبش الحاسب وحتى الاستخدام المنتظم للأضلاع المثلثية عند البتاني، والحسابات المثلثاتية الأساسية عند ابن يونس. وا ِذا كانت طرق الخوارزمي والبتاني وابن يونس على درجة كبيرة أو صغيرة من الأهمية، فان إبداع هؤلاء العلماء يتميز بالاستخدام

المبدع والخلاق للطرق اليونانية والهندية، كالإبداع الذي تميز به أبو الوفا (القرن العاشر – الحادي عشر) الذي وضع بدايات مرحلة جديدة انتهت بتحويل علم المثلثات إلى علم مستقل بذاته.

يقدم القسم الأول من كتاب " المجسطي " لأبي الوفا (أبو الوفا هو محمد بن محمد بن يحيى بن اسماعيل بن العباس أبو الوفا البوزجاني الحاسب. ولد في بوزجان قرب نيسابور عام ٩٤٠م له كتب هامة في المثلثات منها كتاب المجسطي – المترجم) عرضاً منهجياً عن أسس المثلثات المستوية. ويعرض فيه طريقته في حساب جداول الجيوب والبرهان عليها بفواصل َ ١٥. ويشير أبو الوفا عن عدم كفاية طريقة بطليموس التي يصل فيها الخطأ إلى الأثلاث. ويقوم بعمل تفسيري خاص، تحاشى بمساعدته حساب جيب ١° وثلاثة أجزاء الزاوية، وحصل على قيمة الجيب لنصف درجة وبدقة وصلت حتى الربع.

ولأول مرة في تاريخ علم الرياضيات يقوم أبو الوفا بتحديد جميع التوابع المثلثاتية الستة متماثلة في الدائرة. ويقدم أيضاً ابتكاراً أساسياً. فقد صيغت قاعدة استخدام نصف قطر الدائرة وحدة واحدة (جدول أحادي)، رغم انه يستخدم بالوقت نفسه نصف قطر الدائرة المعادل ٦٠° (الجدول الستيني) ويوجد في زيجه جدولين من اجل:

R=١ و R=٦٠

ظهرت المرحلة الهامة في عملية تشكل علم المثلثات في الشرق في العصر الوسيط مع إبداع البيروني. حيث وضع أسس علم المثلثات بشكل متكامل في كتابه الثالث " القانون المسعودي ". وأهم نقاط الإبداع عند البيروني كما يراها الباحثون، هو انه أول من أوصل علم المثلثات إلى علم مستقل. وكذلك لم يستخدم سوى نصف قطر وحيد كأساس في الدائرة لتحديد الأضلاع المثلثية الستة الباقية.

وتثبتت في " القانون المسعودي " القواعد المتساوية بصيغ من اجل جيب المجموع والفرق، ومضاعفة وتنصيف القوس. إن جدول الجيوب والجيوب المعاكسة وضع على أساس قيمة الوتر وجيب١°، التي توصل إليها وبالتالي

يحسب الأوتار الأساسية كأضلاع مماسة في الدائرة لمضلعات مستقيمة. ويقسم البيروني طرق حساب الجيب لـ ١° إلى مجموعتين الطرق التقليدية المتداخلة، والطرق الأكثر تكاملاً، والمبنية على أساس التقسيم الثلاثي للزاوية، وغيرها من الاستعمالات الموضوعة كالتقسيم الثلاثي من أجل حل المعادلات التكعيبية. وينتسب إلى المجموعة الأولى الطرق التي تصدى لها في كتاب " القانون المسعودي " وهي طرق بطليموس وطرق العالم الفلكي في القرن التاسع يعقوب السجزي.

وقد أشار إلى أن هذه الطرق تعطي دقة تصل إلى ثانية فقط، ويقترح البيروني طريقة خاصة "تدقيق بطليموس" والمبنية على أساس تغيير الوتر والأقواس الصغيرة بالأقواس نفسها. ويتألف "تدقيق" البيروني من الاستخدام المتداخل، وهي مشابهة لما قام به أبو الوفا والتي تعطي من اجل جيب ١° دقة بحدود ثلث.

تؤدي المسألة العامة لتقسيم الزاوية إلى ثلاثة أقسام، من اجل تحديد جيب ١° إلى حل المعادلة التكعيبية للبيروني، وينطلق البيروني من تحديد من القوس (٤٠°) فيحصل على هذه المعادلة. ويعتمد في حله على طريقة "الاختيار المتتابع" ومع انه لا يؤدي إليها، ولكنه بالمقابل يقدم استخداماً أصيلاً يكون الخطأ فيه قليل إلى حد كبير.

تتعلق نسبة الخطأ في طرق العلماء السابقين للبيروني، وفي طريقة البيروني نفسه "تدقيق بطليموس" بالقيم المستخدمة والمعتمدة من أجل هذه العملية من التوابع، وهكذا فانهم لم يشكلوا متواليات تقريبية تتوافق مع القيمة الدقيقة المطلوبة. إن طريقة البيروني في حساب جيب ١° بمساعدة تثليث الزاوية كما هو الحال في استخدامه التكراري، والتي يمكن أن يكون الخطأ حدث فيها بنسبة قليلة جداً .

إن جدول الجيب عند البيروني كما هو الحال في جدول أبو الوفا موضوع بفاصل ١٥ للمتغير مع أربع علاقات ستينية، أما جدول ظل التمام فقد وضع بفاصل

١° للمتغير مع أربع علامات ستينية، أما جدول ظل التمام فقد وضع بفاصل ١° للمتغير. وقد زودت الجداول بقواعد " تحديد " و " ضبط التحديد " بمساعدة " الفروق " و " التصحيح "، أي إيجاد القيمة الجدولية للتابع المطلوب، وضبطه بالمتغيرات الخطية والتربيعية.

وقد كان التطور التالي في طرق حساب الجداول المثلثية في أعمال علماء مدرسة المراغة والمدرسة السمرقندية، ويأتي على رأسهم الكاشي (هو عماد الدين يحيى بن أحمد الكاشي أو الكاشاني، له علم بالرياضيات، والأدب، والحديث. توفي باصبهان عام ١٣٤٤ م – المترجم) (القرن الخامس عشر، من المحتمل الرابع عشر – المترجم) الذي استخدم في مسألة تثليث الزاوية من أجل الحصول على ١° باستخدامه المتغير الخاص، والتي ساعدت في سرعة استخراجها وأعطت درجة عالية من الدقة، وهذا ما ساعده هو وجماعته في مرصد أولغ بك من وضع جداول تتميز بكمالها.

حل المثلثات:

كان تطور علم المثلثات المستوية في الشرق في العصر الوسيط أضعف بشكل ملحوظ، من تطور علم المثلثات الكروية. فحتى القرن العاشر استخدمت في حل المثلثات المستوية المائلة طرق بدائية كثيراً. وقد قسموا المثلث عادة عن طريق الارتفاع إلى مثلثين قائمين، وفيما بعد استخدموا نظرية فيثاغورث وقاعدة الفنومونيك (المرتسم) ودخلت في القرن العاشر النظرية المستوية للجيب في نطاق التطبيق العملي للحسابات المثلثية، ويرجع أول إثبات لابن عراق (القرن العاشر – الحادي عشر) والإثبات الثاني للبيروني.

وان الاهتمام الأكبر في مجال الرياضيات في العصر الوسيط، كان موجهاً لمشاكل علم المثلثات الكروية: وترجع إليها معظم المسائل في التطبيق العملي الفلكي، فقد حلت المثلثات الكروية قائمة الزاوية على يد بطليموس وا ضافة إلى طرق بطليموس، في المرحلة الأولى لتطور علم المثلثات في الشرق الأدنى والشرق الأوسط استخدمت وعلى نطاق واسع نظرية مينيلاي، والتي سميت بالنسبة للمثلثات القائمة الزاوية (قاعدة القيم الأربع).

ويرجع إلى أبو الوفا إثبات النظرية العامة للجيب، من أجل المثلثات الكروية الاختيارية. وبدون أن يكون هناك أي اتصال بين أبو الوفا وابن عراق فقد تقدم كل من ابن عراق والخجندي بإثباتها، وقد أطلق عليها الخجندي من خلال تعليقاته على كتاب "المجسطي" اسم " قاعدة الفلك " وفيما بعد أطلق عليها في المؤلفات الرياضية العربية اسم " نظرية التغير " " العرض الكامل " أو " العرض المتحرر من شكل الخط القاطع ". وهكذا تبدلت نظرية مينيلاي، وأصبح بالإمكان التعامل معها بدون الشكل الرباعي. وان تاريخ ظهور هذه النظرية، وكيفية استخراج الحالات الخاصة فيها، موجودة بشكل مفصل في " كرة " البيروني (كتاب كروية السماء). ويقدم البيروني في الكتاب الثالث من " القانون المسعودي " إثباتات خاصة حول نظرية الجيب، ونظرية الظل، والتي وصلت فيها المثلثات الكروية إلى المربع التام، وفيما بعد تستخدم نظرية مينيلاي.

لم يعرف رياضيوا الشرق في العصر الوسيط نظرية الجيب للمثلثات الكروية في شكلها العام. وفي الحقيقة أنهم استخدموا من أجل إيجاد زاوية المثلث على أساس أضلاعه الثلاثة، أو معرفة ضلع من خلال معرفتنا للضلعين الباقيين والزاوية المحصورة بينهما، قواعد توصل إلى هذه النتيجة. وتشاهد هذه القواعد عند ثابت بن قرة، عندما قام بتحديد ارتفاع الشمس على أساس درجة ميلانها، ومن خلال الزاوية الساعية وعرض المكان.

وقد استخدم كل من البتاني وابن يونس والبيروني قواعد مشابهة، ولم يستخدموا هذه القواعد في مسائل علم الفلك الكروي فحسب، وا ٕنما استخدموها في تحديد الإحداثيات الجغرافية وقياس المسافات بين المواقع. وقد كانت الطريقة المستخدمة في هذه القواعد ذات علاقة مع الفنومونيك (المساقط) وأوصلت في بعض الأحيان إلى التصميمات العمودية، كما هو الحال عند ابن قرة والبتاني، وفي أحيان أخرى مكنت من تقسيم المثلث الكروي الاختياري إلى مثلثين قائمين، كما فعل البيروني. وبشكل عام فان نظرية ظل التمام لم تصغ بشكلها الواضح إلا في القرن الخامس عشر على يد رغيومونتان، بعد أن قام بدراسة مستفيضة لزيج البتاني، لذلك أطلق عليها اسم " النظرية البتانية ".

ويحتوي بحث الطوسي عن " المربع الكامل " (في القرن الثالث عشر) على تصنيف للمثلثات القائمة والمثلثات الكروية المائلة واللوغاريتمات وحل لجميع أشكال المسائل – وبالأخص عندما أصبح علم المثلثات هو علم حل المسائل المثلثية.

علم الفلك الكروي:

تدخل الأسس الكروية الفلكية، في النمذجة الفلكية الكينماتية، كعنصر أساسي وضروري في تركيب جميع الازياج في العصر الوسيط، وبدون استثناء. ويكون ذلك بشرح وتعليل الأسباب في اختيار هذه المنظومة من الإحداثيات الكروية، أو تلك، وينطبق ذلك على مجموعة النظريات والقواعد التطبيقية أيضاً، والتي تعد أساسية وضرورية من أجل تحديد إحداثيات الأجرام في القبة السماوية. ومن أهم الأبحاث جودة وتطوراً من حيث المستوى الرياضي والمنهاجي هي تلك الكتابات التي تتعرض للعلاقات التابعية، المتعلقة بهذه القيم، والتي تبحث في مسارها، وفي أهم النقاط اللاحقة لنمذجة الكرة السماوية ودوائرها الكبرى.

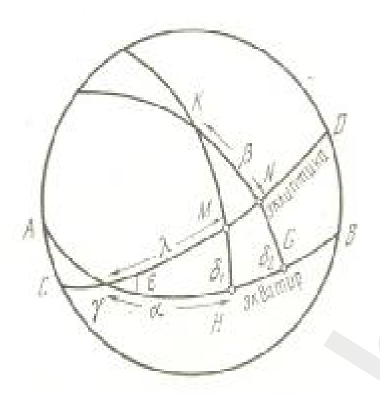
وكما هو الحال في علم الفلك القديم، استخدم في الازياج ثلاث منظومات من الإحداثيات للكرة السماوية:

١. الإحداثيات الأفقية: والتي يحمل عليها نقاط على الكرة تتحدد بارتفاعها ويكون تعيينها من الأفق ومن نقطة الشرق والسمت.

٢. الإحداثيات الاستوائية: يوضع فيها نقاط تتحدد بالشرق α ، ويتم تعيينها على دائرة خط الاستواء السماوي من نقطة الاعتدال الربيعي وميلان δ ، التي يتم حسابها من خط الاستواء السماوي وعلى الدائرة العظمى التي تمر عبر قطب الكون.

٣. إحداثيات دائرة البروج: والتي توضع فيها نقاط تتحدد بطول خط دائرة البروج λ، والمحسوبة بدائرة البروج من نقطة الاعتدال الربيعي وخط العرض B،

المحسوبة على أساس الدائرة العظمى، التي تمر من قطبي دائرة البروج (شكل ٩).



شكل -٩- الخطوط والأقواس الرئيسة في الكرة السماوية

وفي مجال التطبيق العملي استخدم الفلكيون أنظمة مختلفة. وارتباطاً مع هذا الوضع ففي كل زيج كان ينظر إلى عدد كبير أو قليل من العلاقات التابعية، التي ترتبط بتوابع ترجع إلى أنظمة مختلفة من الإحداثيات.

ويدخل في الأنظمة بالدرجة الأولى " درجة الجرم " λ ، أي خط طوله على دائرة البروج، و δ_1 وδ_2 الأولى والثانية لميلان الجرم و " درجات " خط الاستواء السماوي او نقطة الشروق a. " الميلان الأول " – هو الميلان العادي للجرم في المنظومة الاستوائية للإحداثيات. و " الميلان الثاني " الذي سموه أيضاً " درجة العرض " (دائرة البروج)، والتي فهمت على أنها المسافة التي تتوافق مع نقاط دائرة البروج عن خط الاستواء، والمحسوبة على أساس الدائرة العظمى للكرة السماوية والعمودية على دائرة البروج (دائرة العرض). أما بالنسبة للجرم الذي لايقع على دائرة البرو ج فيحسب خط عرضه B، أي تحسب مسافته عن دائرة البروج حسب دائرة عرضه. وفي العديد من الازياج، وبشكل خاص في " القانون المسعودي " يقدم البيروني مفهوم " درجات عبور الجرم لخط منتصف السماء " أو باختصار " درجات العبور ". وهذه النقطة هي تقاطع دائرة البروج مع دائرة ميلان الجرم، أما خط طول

هذه النقطة في منظومة دائرة البروج للإحداثيات فينظر إليها كتابع لميلان الجرم وا إحداثيات دائرة البروج للنقطة.

وبمتابعة التقليد القديم، فقد نظر مؤلفوا الازياج إلى الشروق على شكل " كرة خطية " aبالنسبة للمراصد الواقعة على خط الاستواء الأرضي (خط عرض المرصد o= y) ويكون الشروق ay " في الكرة المائلة " من اجل o # y، أما بالنسبة لطرق تحديد وحساب " الفرق في الشروق " أو " علاقة اليوم " فهي a Δ– وعلاقة الزمن ΔE .

أما المكان الهام فتشغله طرائق تحديد الإحداثيات الأفقية: وهي السمت وارتفاع الجرم، ومنتصف النهار لارتفاع الشمس، وارتفاع الجرم على خط الطول، والزاوية الساعية " ومسافة الشروق " أي القوس الذي يصنعه الأفق مع نقطة الشروق، ونقطة شروق الجرم. وكقاعدة عامة تقدم هذه الطرق تحديد عرض المكان، والمسافة بين الأجرام في الكرة السماوية، وذلك على أساس الفروق بين خطوط طولها (مسألة التحديد المكافئ للمسافة بين النقاط على سطح الأرض)، وحل المسألة العكسية – وهي تحديد إحداثيات الجرم على أساس المسافات فيما بينها، وكذلك طرائق تحديد السمت على أساس الإحداثيات الجغرافية للاماكن والمسافات فيما بينها (وهذه ضرورية بشكل خاص من الناحية الدينية من أجل تحديد سمت القبلة، أي اتجاه مكة المكرمة).

وقد قدمت جميع الأنظمة الثلاثة للإحداثيات المرتبطة ببعضها على شكل علاقات تابعية بطريقة مكتوبة وجدوليه، وترافقت في بعض الازياج ببراهين هندسية.

إن كل ما ذكر أعلاه حول خصائص الآلة الفلكية صحيح وينطبق أيضاً على علم الفلك الكروي كآلة لنمذجة الهندسة الكينماتية، وهنا يمكن وبوضوح كامل متابعة التداخل والتبادل بين كل من التقليد اليوناني والتقليد الهندي، وتشكيل تقليد خاص وتقديم طرق مقوننة في حل مسائل الفلك الكروي، وذلك من خلال الآلة الرياضية التي ظهرت وصيغت في الشرق في العصر الوسيط، هذه الآلة هي علم المثلثات

الكروية. وبشكل أساسي نظرية الجيب والقواعد المكافئة لنظرية الظل، بالإضافة إلى جداول التوابع المثلثاتية، التي حسبت بمساعدة جداول توابع علم الفلك الكروي. ولكن هذه العلوم جميعها ترجع إلى عصر الحضارة الإسلامية العلمية في الشرق في العصر الوسيط (بين القرنين التاسع – الحادي عشر م). أما في الفترة السابقة، التي ينتسب إليها على سبيل المثال زيج كل من الخوارزمي وحبش، فقد تأسست قواعد الغنومونيك، ومبادئ استعمال التصميم المتعامد والوتر المثلثي البطليموسي.

تبين دراسة ازياج القرنين التاسع والعاشر أن معظم الازياج السابقة لهذه الفترة (زيج الخوارزمي وحبش وابن أبي منصور) تعتمد بشكل أساسي على التقليد الفلكي الهندي. بينما مؤلفوا القرن العاشر (البتاني وابن يونس) فيتابعون على أساس التقليد اليوناني مستخدمين طرق مينيلاي وبطليموس في حل المثلثات الكروية. وفي الوقت نفسه فان القاعدة التي سار عليها زيج الخوارزمي على سبيل المثال تشهد على التأثير القوي " للمجسطي " عليه، أما طرائق التصميم المتعامد عند البتاني وابن يونس فقد استمدت من الطرائق الفلكية الهندية.

أما أعمال علماء القرنين العاشر والحادي عشر، وعلى رأسهم أعمال أبو الوفا وابن عراق والبيروني فقد شكلت عصراً جديداً ليس في تاريخ علم المثلثات فحسب، وا نما في مجال علم الفلك الكروي. ورغم أنهم انطلقوا بلا شك من تقليد "المجسطي" لعلم الفلك الهندي، فان علم الفلك الكروي في كتاباتهم صيغ كفرع علمي مستقل، اعتمدوا في صياغته على آخر ما توصلت إليه العلوم في مجال علم المثلثات، وبخاصة أولئك العلماء (المؤلفين للمخطوطات العلمية على مدى سنوات طويلة)(١) الذين كانوا أول من وجد بين مجموعتي القيم المثلثاتية – الخطوط المثلثاتية في الدائرة والخطوط في الفنومونيك. وقدموا تصوراً عملياً معاصراً عنها، وبسطوا في الحسابات

---

(١) من المعروف أن أبو الوفا كان في بغداد والبيروني في عاصمة خوارزم اورجنتش، في العصر الوسيط – وأجروا في عام ١٩٩٧ اتفاقيات من أجل المراقبة في وقت واحد لحادثة الكسوف من اجل تحديد الفرق في خطوط الطول الجغرافية لهذه المدن. وكان ابن عراق من أواخر ممثلي السلالة الخوارزمية، وكان تلميذ البيروني ، وفيما بعد وعلى مدى فترة طويلة استمر مع جماعته في العمل لحل مسائل علم المثلثات الكروية وعلم الفلك.

إلى درجة كبيرة، تركين الطرائق المعقدة للمربع الكامل، ومستبدلين هذه الطرائق بعمليات أصيلة خاصة.

تشكل فصول كتاب "المجسطي" لأبي الوفا التي تعرضت لعلم الفلك الكروي مثالاً لامعاً عن استخدام الآلة المثلثاتية في حل المسائل الفلكية.

وكان لقواعد أبو الوفا شكل العلاقات التابعية عادة بين أربع قيم، تحدد ثلاث منها عن طريق المراقبة، أما القيمة الرابعة فتحدد بطريقة حسابية. بهذا الشكل يقدم أبو الوفا جميع التوابع الأساسية في علم الفلك الكروي، وتترافق قاعدة تحديد كل هذه القيم بعدد من الأمثلة وأعطيت بعض التوابع بعدد من القواعد.

وقد تصدى ابن عراق في بعض أبحاثه المؤلفة من سلسلة تعدادها خمس عشرة مقالة مكتوبة على " اسم البيروني " لعلم الفلك الكروي. والشيء الهام فيها هو جدولة " جدول الدقائق " الذي ضمنه خمسة تراكيب أساسية حسب تصوره، وقد أطلقت هذه التراكيب من التوابع التالية: ، λ ، δ، φ ، ζ ويمكن بمساعدة هذه التوابع تحديد التوابع الضرورية الأخرى. وبهذا الشكل حلت كما يفترض ابن عراق جميع المسائل في علم الفلك الكروي بشكل عملي. كما انه الحق مع جدوله القواعد التي وضعت على أساسها هذا الجدول.

إن الفكر الإبداعي عند البيروني في مجال علم الفلك الكروي – هي ظاهرة فريدة. ولا تختلف كتاباته في " القانون المسعودي " عن علم الفلك الكروي بشكل جوهري من حيث الشكل عن الفصول المماثلة لها عند ابن عراق وأبو الوفا، وتحتوي جميعها كما هو الحال في ازياج من سبقهم على مجموعة من التحديدات المختصرة، والقواعد العملية. إلا أن "القانون المسعودي" من حيث البنية مغاير تماماً. وهي الكتابات الوحيدة في الشرق في العصر الوسيط التي احتوت على كتابات شاملة عن جميع المسائل النظرية، معتمدة على البراهين الرياضية البحته (فالجداول في "القانون المسعودي" لاتنفصل عن النص، وا إنما تشكل جزءاً عضوياً فيه).

بهذا الشكل ورغم أن شكل الكتابة في هذه المقالة عند البيروني لا تبتعد عن القانون التقليدي، فهي تشكل

تجميع لما تم عمله في هذا المجال من قبل العلماء السابقين، وما قدمه البيروني نفسه أيضاً. وهذا ما يقوله البيروني في هذا المجال " أنا لم أسر في هذا الكتاب على طريقة من سبقني، (حتى) إلى ما توصل إليه.. [مؤلفوا هذه الازياج] انحصروا بتقديم كتابات (مجردة) عادية فقط عن الزيج... مبتعدين عن الحقائق الأخرى لهذه الأسس التي اعتمدوا عليها... وأنا عملت ما يجب أن يعمله كل واحد في مجاله – مع الاعتراف بالمساعي الجيدة لمن سبقه وبدون خجل تصحيح أخطاءهم... وكل عمل قمت به جاء (التعليل) لأسباب هذا العمل ووضع تفسيرات قمت بها، أبعدت الدراسة عن التعصب الأعمى من قبلي، وكشفت أمامي ما هو باطل من أجل إثبات الحقيقة التي أثبت صحتها، أو تصحيح ما وقعت فيه من خطأ ".

تحتوي الفصول التي تتصدى لعلم الفلك الكروي في كتاب "القانون المسعودي" على قواعد تحويل الإحداثيات الكروية من اجل إيجاد توابعها الأساسية، التي ترافقت مع الجداول والإثبات الهندسي، وينطلق البيروني في معظم رسومه على أساس الإسقاطات السيتريوغرافية (المجسمة) للكرة السماوية على المستوى الأفقي، ولخط الاستواء السماوي، ولدائرة البروج بالنسبة للقطبين المتفقين معها. وهنا لايسمح المجال للشرح المفصل لطريقة البيروني، لذلك سنتوقف قليلاً عند بعض النقاط الهامة كما نتصورها في "القانون المسعودي" والتي لا تدخل معلوماتها في زيج من سبقه. والكتاب مؤلف من أبواب ثلاثة.

في الباب الأول: يتصدى البيروني لقاعدة تحديد الزاوية الساعية للجرم، وارتفاعه في خط الطول والمسافة بين الأجرام في الكرة السماوية، التي تؤدي كما تحدثنا إلى نظرية جيب التمام. وخلافاً لثابت بن قرة والبتاني وابن يونس يقدم البيروني إثباتاً لجميع هذه القواعد وأرفق ذلك بسلسلة من التوضيحات الهندسية. ويفترض البيروني في فصل من الكتاب السادس "من القانون" طريقة أصيلة في تحديد فرق

خطوط الطول، التي استخدمها من اجل حساب فرق خطوط الطول بين الإسكندرية وغزنة. ولأجل هذا الغرض اختار البيروني سلسلة من المراكز الجغرافية الواقعة بين البلدين مثل بغداد، شيراز، الرقة، ري وغيرها. وكانت المسافة بين هذه المراكز، وخط طولها، وخط عرضها معروفة بشكل دقيق في الشرق في العصر الوسيط. ويحصل عل الفرق المجهول لخط الطول (البيروني) كمجموع فروق خطوط الطول بالنسبة للمراكز المذكورة.

في الباب الثاني: يتعرض لموضوع تفصيلي عن طرائق تحديد ميلان دائرة البروج ε كما يقدم ملخصاً شاملاً عن النتائج، التي تم الحصول عليها من قبل مختلف العلماء، ابتداء من علماء اليونان (ايراتوستين، كيباره، بطليموس) والعلماء الهنود، وانتهاء بثلاثة نتائج للبيروني نفسه.

وفي الباب الثالث: (الفصل الثاني من الكتاب الخامس "القانون" يعمم فيه البيروني مجموع المسائل الأساسية في علم الفلك الكروي. وحسب رأي البيروني فان هذه المسائل هي مقدمة من اجل تحديد اثنتين من القيم التطبيقية الأساسية في علم الفلك لتلك الفترة: القيمة الأولى هي ميلان الجرم δ، وخط عرض مكان الراصد φ. وقد انشأ البيروني مجموعتين من الإحداثيات الأفقية للجرم السماوي. حيث تشمل المجموعة الأولى الإحداثيات التي تبقى ثابتة دون تغير على مدى اليوم، وذلك بالنسبة للشمس، وهي مسافة الشرق، وارتفاع الشمس في منتصف النهار، والفرق بين الشروق. وهذه مسافة الشرق، وارتفاع الشمس في منتصف النهار، والفرق بين الشروق. وهذه القيم يمكن أن تتوحد في ثلاثة أزواج متشابكه ومتمازجة. أما المجموعة الثانية فتتألف من إحداثيات تشبه إحداثيات المجموعة الأولى بمعنى معين، ولكن قيمها تتغير على مدى اليوم. وهذه القيم هي سمت الجرم، وارتفاعه في لحظة ما، والقوس المنصرم من اليوم. ويوحد البيروني هذه المجموعة في ثلاثة أزواج متشابكة. وقام بتركيب أزواج مع كل واحدة من المجموعة الأولى، حيث يتشكل تسع مركبات في ثلاثة قيم، بحيث تصبح δ و φ توابعاً لهذه القيم. وبهذا الشكل فان تراكيب القيم التي ترجع إلى إحدى هاتين المجموعتين تمكن من إعطاء ثلاثة

احتمالات من المسائل في تحديد ميلان المكان وعرضه. وبتركيب القيم التي ترجع إلى كلا المجموعتين يحصل البيروني على تسعة احتمالات لهذه المسائل، ومن إجمال عدد الطرائق الممكنة في تحديد δ و φ (كل منهما منفصل عن الآخر) فإنها تعادل ٥ا طريقة. وا إذا ضمت الحالات الأخرى التي يمكن من خلالها تحديد المكان إلى طرق البيروني، عندها تكون قد شملت كافة الاحتمالات الممكنة في حل هذه المسائل.

صيغت أداة علم الفلك الكروي في الشرق في العصر الوسيط بشكلها الكامل في القرن العاشر – والنصف الأول من القرن الحادي عشر، ولم تحتو أزياج علماء الأجيال المتأخرة على أي شيء جديد بالمقارنة مع "القانون المسعودي" كما تتميز الطرائق والتوابع (الدالة) بأنها أقل اكتمالاً.

نمذجة حركة الأجرام السماوية :

عرفت البدايات الأولى في الاتجاه الأساسي لتطور نمذجة حركة الأجرام السماوية كما ذكرنا، من الترجمة والشروح والتعليقات على "المجسطي" والسيدهانتا الهندي، والتقاليد الفلكية المحلية قبل عصر الإسلام (على أراضي إيران والمناطق القريبة منها) أيضاً. وأقدم هذه الأبحاث من حيث الفترة الزمنية (القرن الثالث –القر ن التاسع) تتبع بشكل أساسي إلى التقليد الهندي، والسيطرة في وقت لاحق (القرن العاشر) كانت بشكل كامل للتقليد اليوناني.

وابتداء من القرن الحادي عشر والقرن الثاني عشر ظهرت أبحاث مستقلة، حيث كان اتجاهها الأساسي في المرحلة الأولى هو التثبت من بارامترات "المجسطي"،وكذلك محاولة إزالة المتناقضات في نماذج (موديلات) بطليموس، وفيما بعد تم وضع موديلات ونظريات جديدة.

ورغم كل ذلك فحتى الكتابات القديمة جداً من حيث الفترة الزمنية لم تكن روايات بسيطة فقط، وكذلك الشروح والتعليقات المرتبطة بها – وقد كانت النمذجة الكينماتية (الحر كية) الهندسية في أبحاث القرنين التاسع – الخامس عشر ذات علاقة وثيقة مع تطور الطرق الرياضية – بالنسبة للطرق الحسابية وكذلك بالنسبة لطرق

دراسة العلاقات التابعية المرتبطة مع بارامترات حركة الأجرام السماوية. وكانت أزياج كبار علماء الشرق في العصر الوسيط مرحلة حقيقية ولامعة في تاريخ نمذجة الهندسة الكينماتية (الحركية).

وقد جرى هذا التطور اعتباراً من بدء الاستخدام المستقل للطرق الجدولية والنصوص الهامة في العلاقات التابعية عند الخوارزمي وحبش، وذلك من خلال توحيدها مع التفسيرات الهندسية المدروسة بشكل منتظم (قانوني) عند البتاني وأبو الوفا، ومن خلال الطرق الحسابية عند ابن يونس ومن خلال التحليل العميق عند البيروني، واستخدام النمذجة الرئيسة المستقلة عند الطوسي وتلامذته، وبالتالي الاستكمال التام في العمل بالطرائق الحسابية عند أصحاب المدرسة السمرقندية.

حركة الشمس والقمر:

يشرح الخوارزمي حركة الشمس بمساعدة النظرية اللامركزية، مستخدماً إحدى المتباينات – " معادلة الشمس " (أو " معادلة المركز ") θ . وتستخدم في علم الفلك الهندي من أجل تحديد θ وعلى نطاق واسع " طرق الجيب " θ التي ينظر إليها على شكل منحني جيبي مع دور سنو ي وحيد يعادل حده الاعظمي.

وهي الطريقة التي استخدمها الخوارزمي (تسمى طريقة الميل) وتشهد بارمترات الجداول الموضوعة من قبلهم على تأثير التقليد الهندي، ورغم أن هذه الطريقة ذاتها موجودة في الكتابات الهندية، لم ينوه إليها بشكل مباشر. ومن الجائز أنها جاءت من خلال الطرق الساسانية في علم الفلك، حيث أن هذه الطريقة تتطابق في بعض الحالات مع طريقة الجيب.

إن نماذج (موديلات) حركة الشمس في زيج كل من ابن أبي منصور وحبش موجودة بشكل واضح في "المجسطي". وتشير المقارنة بين جداول معادلة الشمس مع نتائج الحسابات التي تمت على أساس قاعدة " المجسطي " إلى أن حبش انطلق من الموديل اللامركزي. ويتطابق جدول ابن أبي منصور إلى حد كبير مع جدول حبش.

خصص البيروني لمعادلة الشمس فصلاً مستقلاً في كتابه " القانون المسعودي " إضافة إلى بحث خاص عرضت فيه خمس عشرة طريقة لتحديدها.

ثمانية طرق منها ترجع إلى البيروني نفسه. كما وضعت في البحث طريقة بطليموس وطريقة الفزاري من كتابه " سيدهانتا الكبير " وطريقتين من كتاب " الصعوبة " لعمر الفاروق خان الطبري، وهو أحد مترجمي الأبحاث الساسانية ، إلى اللغة العربية، وطرق علماء بغداد الخازن والفرغاني وسليمان ابن اسماعيل والخوارزمي والبتاني وحبش الحاسب. وتأتي أهمية هذا البحث الخاصة من أن جميع المصادر التي اعتمد عليها البيروني مفقودة في الوقت الحاضر.

ويستخدم الخوارزمي بالنسبة لشرح حركة القمر الموديل (النموذج) الدائري العلوي البسيط، الذي ظهر لأول مرة في علم الفلك اليوناني قبل بطليموس، وفيما بعد استخدم في علم الفلك الهندي. وقد شرحت في هذا الموديل حركة القمر بمساعدة معادلة واحدة – ، وليس على أساس معادلتين كما هو الحال عند بطليموس. ويتبع الخوارزمي هنا التقليد الهندي. وقد حسبت معادلة القمر في زيج البيروني " بطريقة الميل " من اجل ٤ْ .

$$\theta m\alpha x = ٥٦'$$

والتي تتوافق مع القيمة التي استخدمت في علم الفلك الهندي.

وتظهر جداول حركة القمر في زيج يحيى بن أبي منصور، إلا أنه انطلق في هذا العمل من نماذج (موديلات) بطليموس وتيون الاسكندراني . مع اختلاف واحد بينهم هو أن درجة الميلان على دائرة البروج هو ٠ْ ، أما عند أبي منصور فهي ٤٦ َ ٤ْ . أما بالنسبة إلى حبش فرغم انه يتمسك " بالمجسطي " إلا أن نموذجه لا يشبه تماماً النموذج البطليموسي. فقد تجنب حبش الطرح واستبدله بعملية أكثر تعقيداً، فقد أخذ العامل المتغير الالونغاتسيا (عندما يشكل القمر مع الشمس زاوية قائمة) للقمر، ولم يأخذ الالونغاتسيا المزدوجة كما فعل بطليموس. وبالاتفاق مع هذه المتغيرات والتوابع البطليموسية فقد حصل حبش على شكل مشابه نوعاً ما للشكل البطليموسي. ولهذا فان خط طول القمر المتوسط عنده أكبر بـ ٥° عما هو في الازياج الأخرى. كما أن البيروني ينطلق في نظرية الحركة للقمر من الطريقة البطليموسية على أساس معادلتين:

المعادلة الأولى المسافة الحقيقية والمتوسطة بين نقطتي الأوج لمدار القمر كما يسميها البيروني، والمعادلة الثانية فهي الزاوية التي يرى من خلالها من مركز الكون نصف القطر – قوس القمر في المدار.

قدم البيروني في كتابه " القانون المسعودي " جدولاً للمعادلة الكاملة للقمر، ويتألف هذا الجدول من خمسة أعمدة. تحتوي الأعمدة الأربعة الأولى منها على قيم للتوابع كما هو الحال في الجداول البطليموسية. أما العمود الخامس فيحتوي على قيمة " المعادلة الثالثة " وهذه القيمة غير موجودة في الجداول البطليموسية – وهي حول التصحيح بفرض أن القمر لا يتحرك على دائرة البروج، وإنما يتحرك على مدار خاص، يصنع مع دائرة البروج زاوية معينة. ويطلق البيروني على "المعادلة الثالثة " التصحيح من اجل الانتقال من خط طول القمر وهو في مداره المائل، إلى خط طوله على دائر ة البروج (" بالتحويل إلى دائرة البروج ") في المصطلحات المعاصرة).

ويبين أن بطليموس أهملها بسبب ضآلة خط عرض القمر. وقد صيغت العلاقات الاختصاصية للبيروني من اجل تحديد خط عرض القمر، واستخدم في إثباتها الجيب. ويمثل هذه العلاقة، التي لم تكن صيغت بعد بشكلها الكامل، فقد حسبت على أساسها جداول الخوارزمي. كما أنها استخدمت من قبل علماء الفلك في المدرسة السمرقندية.

حركة الكواكب:

يقع في صلب نظرية حركة الكواكب عند الخوارزمي انعكاس خاص لموديل بطليموس الحركة اللا مركزية المتبدلة. وقد بينت الدراسات أن موديل الخوارزمي مبني على الطرق الهندية، التي تعد بدورها تعديلاً للموديلات اليونانية. وعند حساب الجداول لمعادلات الكواكب ينظر الخوارزمي إلى خط الطول الحقيقي للكوكب على شكل تابع لخطين متغيرين، أما معادلة الكواكب فينظر إليها على شكل مجموع حدين (طرفين). وتنقسم عملية حساب خط الطول الحقيقي إلى عدة مراحل. يفترض في البداية أن مركز الدوران للكوكب يقع على نقطة موجودة على خط الطول المتوسط. أما المرحلة الثانية فتتألف من إيجاد التصحيح الذي يحسب

الاختلاف اللامركزي والشذوذ في الدوران. وبإضافة معادلة الدوران الثاني يعطي خط الطول الحقيقي للكوكب. ويرجع هذا الموديل المبسط بنشوئه إلى الطرائق الهندية، التي يمكن أن يكون الخوارزمي قد تعرف عليها من خلال الكتابات الإيرانية قبل الإسلام.

ضمنت نظرية حركة الكواكب للبيروني في كتابه " القانون المسعودي " وقد استخدم موديل الحركة اللا مركزية المعقد وفرضية الاكوانت (فرضية ميكانيكية). وكما هو الحال عند بطليموس فان البيروني يفصل بشكل خاص موديل حركة عطارد ومقارنته مع الموديل "المضبوط" لحركة القمر. ويبين أن "مراكز الحركات الدوارة" للكواكب تحتفظ بالتوجه نحو الشمس، كما لو أن كلاهما يشكلان وحدة متماسكة " أي يشير إلى خاصة هامة في منظومة بطليموس، وبالموافقة مع هذا فان مراكز الدوران للكواكب المنخفضة تتطابق مع مركز الشمس، أما الكواكب العالية (البعيدة) فلكل منها مركزه الخاص، وتشكل الأرض والشمس قيمة لحلقة رباعية – متوازي الأضلاع –.

يقدم البيروني جدولاً لخطوط الطول المتوسطة للكواكب البعيدة (العالية) والشذوذ في الكواكب القريبة (يتطابق خط طولها المتوسط مع خط طول الشمس) ويتطابق مع عائلة الإشارات الستينية لهذه التواريخ كما هو الحال في جدول الشمس والقمر، وكذلك جداول "معادلة" جميع الكواكب الخمسة على شكل توابع لخطوط طولها والموضوعة بمساعدة بعض الأفعال (الأعمال) فوق الأعمدة المعطاة بطريقة مشابهة للطريقة البطليموسية. ويقدم هنا نتائج مراقباته الخاصة، إضافة إلى مراقبة من سبقه، وعلى أساس هذه المراقبات قام بضبط جداول بطليموس. وفيما بعد ينظر إلى الموديل البطليموسي المشابه للحركات العكسية للكواكب، ووضع جدول مواقعها. وفي زيج الفلكيين في بلاد الإسلام كانت قد استكملت الطرائق البطليموسية في حساب حركة الكواكب على خط العرض.

ويرجع الدور الكبير في هذا العمل إلى كل من الخوارزمي والبيروني. واستخدمت طرقهما فيما بعد من قبل علماء المدرسة السمرقندية، واستخدمت نظرية مشابهة تقريباً ، استخداماً كاملاً من قبل كوبرنيكوس.

النجوم الثابتة:

قبل الميلاد بحوالي ٣٠٠ سنة وضع الفلكيان أرسطو طاليس وتيموهاريس أول كاتالوك نجمي (جريدة نجميه)، بينا فيه أسماء النجوم التي كانت معروفة في ذلك الوقت، وكذلك وضعا إحداثيات هذه النجوم. وبعد ١٥٠ سنة كرر كيبارة هذا التحديد. وتكرر هذا العمل للمرة الثالثة من قبل بطليموس.

أما بالنسبة للازياج في الشرق في العصر الوسيط، كقاعدة عامة كانت تحتوي على معلومات عن علم الفلك النجمي، أما معظمها فقد اختلطت مع كاتالوكات النجوم الثابتة. ومن أهم الكاتالوكات التي وصلت إلينا هي جداول البيروني والصوفي الذي عمل في القرن العاشر في مرصد شيراز. وجداول البيروني الموضوعة في غزنة، وجداول الخيام التي وضعها في أصفهان، وجداول مرصد سمرقند التي وضعها الكاشي والغ بك. وتعد جداول البيروني في " القانون المسعودي " من أكبر كاتالوكات الشرق في العصر الوسيط. ويقسم البيروني السماء النجمية على طريقة بطليموس إلى ٤٨ برج (مجموعة) (١٢زودياك، و٢١ شمالية و ١٥ جنوبية)، كما حدد النجوم الواقعة خارج نطاق البروج. ويدخل في كاتالوكه ١٠٢٩ نجم، مبينه برقم عام على الكاتالوك، وخط الطول ورقمها في البرج وا إحداثيات دائرة البروج، ودرجة السطوع (من ١ إلى ٦)، ووجدت في جدول لاحق للبيروني نماذج رافقت واضعي الكاتالوكات حتى القرن السابع عشر.

وعندما قارن كيباره معطيات أرسطو طاليس وتيموهاريس مع نتائج مراقباته الخاصة، توصل في ذلك الوقت إلى نتيجة مفادها، أنه كما أظهرت خطوط عرض النجوم بأنها عملياً غير متغيرة،وتتزايد خطوط طولها بمقدار ٥ر١ ْ وهذا ما زاد في الخطأ أكثر من النسبة المسموح بها.

كما بينت نتائج بطليموس مع معطيات كيباره أن خط طول النجوم الثابتة يتزايد بمعدل ١°تقريباً كل عام. أي أن النجوم الثابتة تبين أنها متحركة.

بهذا الشكل كانت قد تبينت ظاهرة أطلق عليها الإزاحة أو الزحزحة أو مباكرة الاعتدالين، أي الحركة البطيئة لنقاط الاعتدال الربيعي والاعتدال الخريفي بسبب حركة مستوي الاستواء ودائرة البروج السماويين.

تتكون حقيقة هذه الظاهرة على الشكل التالي: تسبب حركة مستوي الاستواء تحريك نقاط الاعتدال على طول دائرة البروج من الشرق إلى الغرب، أي إلى مواجهة الحركة الظاهرية السنوية للشمس بمعدل ٣ر٥٠ً في السنة. ونتيجة لذلك فان السنة المدارية (الفاصل الزمني بين عبورين متتاليين للشمس عبر نقطة الاعتدال الربيعي) التي يرتبط بها تغير الزمن على الأرض بمقدار ٢٠ دقيقة و٢٤ ثانية أقصر من السنة النجمية، أي الدورة الكاملة للأرض حول الشمس. وبسبب هذا الترنح أو التمايل فان الإحداثيات الاستوائية وا إحداثيات دائرة البروج للنجوم تخضع للتغير. وتتزايد خطوط طول النجوم بمعدل ٣ر٥٠ً في السنة. أما تغير خطوط العرض فقيمته قليلة بحيث لا تستحق الذكر، أما حساب ظهورها (شروقها) وميلانها فقد استخدم في ذلك قانوناً أكثر تعقيداً. وتشهد خواص هذه التغيرات على إنها تحدث بشكل أساسي بسبب ميلان مستوي الاستواء، أما التغيرات الناتجة عن حركة مستوي دائرة البروج فليس له أهمية تذكر كمثل عدم أهمية تغير ميلان مستوى دائرة البروج على مستوى الاستواء.

إن المغزى الميكانيكي لهذا التغير (مباكرة الاعتدالين) المؤلف من الترنح الشمسي – القمري (الحركة التدريجية لنقطة الاعتدال الربيعي) والحركة البطيئة لمستوى دائرة البروج، المرتبطة بتأثير قوة الجاذبية، هذه القوة التي وضعت من قبل نيوتن. طورت نظرية مباكرة الاعتدالين بشكل أساسي في القرن الثامن عشر في أعمال كل من د. الأمبير ولابلاس وايلر. وقد حصل ف بسيل، و.ف. ستورف، وس نيوكومب على القيم الدقيقة عن مباكرة الاعتدالين في القرن التاسع عشر.

لقد حاولت أجيال عديدة من الفلكيين ابتداء من العصر الوسيط وحتى كوبرنيكوس شرح ظاهرة مباكرة الاعتدالين. وقد افترض بطليموس من قبل أن خط الاستواء السماوي ودائرة البروج ثابتين (مثل الأرض نفسها)، وبالتالي فان نقطتي تقاطعهما تكون ثابتة أيضاً (الاعتدالين الربيعي والخريفي)، فالنقطة الأولى منهما تحدد بداية السنة المدارية. وا ٍذا درست حركة هاتين النقطتين، عندها فبدلا من الكرة الواحدة للنجوم الثابتة (الكرة الثامنة) قسمت إلى كرتين، واحدة منهما (الثامنة) تحدد حركة مباكرة الاعتدالين وتتم دورة كاملة حول المحور الذي يمر من قطبي دائرة البروج خلال ٣٦٠٠٠[١] سنة، والكرة الثانية (الكرة التاسعة) وتحدد الحركة اليومية للنجوم. وبالعلاقة مع هذا الوضع فقد نشأ سؤال حول تساوي حركة مباكرة الاعتدالين، وعن قيمة ميلان دائرة البروج، وعن قانون تغيرها. وقد اقتربت هذه المسألة من مسألة قياس مدى (طول) السنة المدارية، والتي ظهرت بعلاقة وثيقة ومترابطة مع المسألة التالية، هل تتحرك نقطة الأوج للشمس على مدار حركتها الحقيقية، أي على دائرة البروج.

لقد وضع فلكيو الشرق في العصر الوسيط سلسلة من الطرائق الناجحة في تحديد لا مركزية المدار الشمسي، وتعيين خط طول نقطة الأوج للشمس. وقد أوليت هذه المسألة اهتماماً خاصاً في زيج كل من البتاني والبيروني.

فقد قام البيروني بنفسه بسلسلة من القياسات الكاملة، وضع عدة طرق فعالة في تحديد خط طول نقطة الأوج للشمس، وتعيين نقطتي الاعتدالين الربيعي والخريفي، والانقلابين الصيفي والشتائي، وطول السنة المدارية. وقد ظهرت مشكلة جديدة أمام الفلكيين وهي ضرورة وضع موديل كينماتي، يفسر مجموع هذه الظواهر. وكان على هذا الموديل أن يلبي الطلب في شرح عملية تحرك نقطة الأوج للشمس (أو تحرك نقطة الاعتدال الربيعي)، وتغير ميلان دائرة البروج وتفسير خصائص هذه التغيرات. ويمكن أن نعتبر أن القيمة الكبيرة لما قدمه البيروني في كتابه " القانون المسعودي " حيث وضع ملخصاً دقيقاً للنتائج التي حصل عليها العلماء السابقين له

---

(١) حسب المعطيات الحديثة خلال ٢٦٠٠٠ سنة.

وما قدمه علماء الفلك في العصر الوسيط، ابتداء كتابات بطليموس وحتى مراقبات البيروني الخاصة في عصره. وقد أثبت هذا الملخص ظاهر ة مباكرة الاعتدالين.

نظرية الترابيداتسيا[1]:

أن نظرية التربيداتسيا التي تطلبت موديلاً (نموذجاً) خاصاً، وضعه لأول مرة في القرن الرابع ميلادي لعصر الهلنستية المتأخر تيون الاسكندراني المعلق على بطليموس، وعمل بها بشكل موسع أحد كبار علماء الشرق في العصر الوسيط هو ثابت بن قرة، الذي كرس لهذه النظرية عملاً خاصاً أطلق عليه الدراسة عن "حركة الكرة الثامنة".

وقد شرح ابن قرة في موديله حركة نقاط الاعتدال الربيعي، وتغير ميلان دائرة البروج. وقد جاءت نظريته مؤكدة على أن حركة الترنح ليست واحدة، وا ٍنما تشكل حركة متقلبة ودورته ضمن مجال قدره ٨ . وتتلخص فكرة هذا الموديل بالتالي:

إن النقطة الأصلية (الحقيقية) للاعتدال الربيعي هي النقطة التي يتقاطع فيها خط الاستواء السماوي مع دائرة البروج.

وفي لحظة زمنية معينة t تشغل هذه النقطة مكاناً جديداً على خط الاستواء، فقد يكون أمام أو خلف النقطة الأولى. وهنا تتغير زاوية ميلان دائرة البروج، ويتطابق قوس دائرة البروج مع الوضع الجديد – إن إحداثيات نقطة الاعتدال الربيعي تتقاطع في نقطة ما على دائرة نصف القطر الصغير، مع مركز النقطة الأولى. وان المسافة الحاصلة بين الوضع الجديد لنقطة الاعتدال الربيعي ونقطة التقاطع هذه هي الزيادة في خط طولها $\Delta\lambda$. لذلك تتحدد بمكان نقطة التقاطع على الدائرة، ومن الطبيعي أن يكون لها خصائص دورية. وتؤدي مسالة إيجاد "معادلة" مباكرة الاعتدالين إلى تحديد اثنتين من القيم (بارمترات) قيمة $\Delta\lambda$ ، وزاوية على خط الطول وهي الزاوية التي تتشكل من تقاطع القوس الأول (الأصلي) لدائرة البروج، وقوسها المتشكلة في اللحظة t (" معادلة ميلان دائرة البروج ") التي تتعلق بنصف قطر الدائرة الصغرى. ويمكن

---

(١) هي نظرية مباكرة الاعتدالين، أو الزحزحة أو الاهتزازية أو ترنح الأرض

الفرض أن القيمة العظمى $\Delta\lambda$ – مدى التغير الذي اختاره ثابت بن قره على أساس معطيات الرصد، وانطلاقاً من هذه المعطيات وضع موديلاً، يمكن من خلاله حساب علاقة ميلان دائرة البروج.

يعود الموديل التالي إلى ابن الزرقالة[١] (الزرقالي) الذي حاول أن يربط موديله هذا بموديل خاص لحركة الشمس، هذه المحاولة موجودة في بحث له لم يصلنا، وقد كتب هذا البحث حول تحديد مدار الشمس اللامركز ي، وخط طول نقطة أوج الشمس، وطول السنة الشمسية. وكان من المفروض أن يحسب موديل حركة الشمس وحركة نقطة أوجها، أي يحتوي على اثنين من عدم التساوي. وقد استخدم ابن الزقالة (يسميه المؤلف الزر قالي – المترجم) مخططاً من اجل شرح حركة الشمس، يذكر هذا المخطط بالموديل المعقد لبطليموس الذي وضعه عن حركة القمر وعطارد.

وقد افترض ابن الزرقالة أن مركز الدائرة اللامركزية للشمس ليسرثابتاً، وا إنما يتحرك على شكل دائرة ما صغيرة وباتجاه معاكس لاتجاه حركة الشمس على دائرة لا مركزية. واتفاقاً مع هذه النظرة فان المدار الشمسي اللامركزي يتغير بشكل دائم، بالغاً حديه الاعظمي والاصغري. وفي مثل هذه الحالة تصنع نقطة الأوج الحقيقية للشمس على مدارها بعض الحركات الشاذة (المتغيرة) التي يتحدد مقدارها (قيمتها) في نهاية الأمر بنصف قطر الدائرة الصغرى.

بهذا الشكل فان الحركة الحقيقية للشمس حسب رأي ابن الزر قالة تختلف عن الحركة المتوسطة المتساوية بعدم تكافؤين اثنين: عدم تكافؤ مركزي "علاقة المركز" التي استخدمها كيباره، وعدم التكافؤ الثاني الذي يحسب حركة مركز الدائرة اللامركزية الصغرى. لقد اهتم في موديل ابن الزرقالة في وقت لاحق كوبرنيكوس، هذا الموديل الذي ظهر تأثيره وبدرجة واضحة على احد موديلات حركة نقطة الأوج للشمس عند

---

(١) هو ابن اسحق إبراهيم بن يحيى التجيبي النقاش يعرف بابن الزرقالة. توفي في قرطبة عام ١٠٩٩ م.

كوبر نيكوس (المقصود التحول من نظرية مركزية الأرض لحركة الأجرام إلى مركزية الشمس).

منطلقين من موديل حركة الشمس، فان ابن الزرقالة قد عمل على استكمال موديل التريبيداتسيا الذي تقع في أساسه آلية موديل ثابت ابن قره. وقد وضع ابن الزرقالة نظرية الترابيداتسيا في بحث " النجوم الثابتة ".

وحدد ظاهرتين: ظاهرة مباكرة الاعتدالين وقد أبقى عليها دون تغيير كما هو الحال في موديل ثابت بن قره تقريباً ، وظاهرة تغير ميلان دائرة البروج، وقد اقترح بالنسبة لهذه الظاهرة موديلاً مستقلاً. وان كلا الموديلين اللذان وضعهما ابن الزرقالة متعلقان ببعضهما البعض ويخضعان لآلية واحدة. وتتحدد في موديله الحركة الدورية لنقاط الاعتدال الربيعي كما هو الحال في موديل ثابت بحركتها على الدائرة الصغرى بالنسبة لمراكز نقاط البداية. ومن أجل شرح آلية تغير ميلان دائرة البروج فان ابن الزرقالة يقيم حول قطبي خط استواء الكرة السماوية دائرة صغرى تتحرك عليها نقطة ما، تشكل مركزاً لدائرة صغيرة أخرى، يتحرك عليها بدوره قطب دائرة البروج. في الحقيقة فان هذه العملية هي عملية تشابه كروي للحركةالدوارة العلوية على كر ة، ويحصل نتيجة هذه الحركة تغير دوري لميلان دائرة البروج. واكبر قيمة تبلغها هذه الحركة هي عندما يقع قطب دائرة البروج على مسافة أعظمية من قطب الاستواء، داخل قيمة عندما يكون في الوضع المعاكس، أي عندما تكون المسافة على أقل قيمة لها. وتتعلق سرعة تغيره على وضع النقطة الأولية على الدائرة المركزية.

إن موديل نظرية التر ابيداتسيا المعدل والموضوع من قبل ابن الزرقالة كما هو الحال في موديل ثابت ابن قره انتشر على مدى فترة زمنية طويلة بين علماء البلدان الإسلامية. ويمكن التنويه بشكل مباشر إلى أن هذا الموديل استخدم بشكل أساسي من قبل ممثلي الاتجاه المدرسي (النظري) للعلوم الاسبانية العربية. أما بالنسبة لعلماء المناطق الوسطى والشرقية للعالم الإسلامي فلم تستخدم هذه النظرية بنجاح فيما بينهم. وحسب معطيات البتاني الذي عاصر

ثابت بن قره، فان قيمة التربيداتسيا فاقت بـ ٨ ْ عن قيمتها عند بن قرة. واتفاقاً مع مراقبته لخط طول النجوم الثابتة المقاسة من قبل بطليموس،فقد زادت خلال هذه الفترة بمعدل وسطي حوالي ١١ ْ و ٣٠ َ ، وهذا يعطي قيمة لمباكرة الاعتدالين بمعدل ١ ْ كل ٦٥ – ٦٠ سنة.

لم تعط مراقبات فلكيي الأجيال التالية وحتى كوبر نيكوس أي معلومات في صالح الحركة العكسية لنقاط الاعتداليين. ويمكن أن هذه الشروط النظرية للترابيداتسيا كانت تستخدم في حالة الأخطاء الكبيرة للمراقبة فقط أو أهملت بشكل عام معطيات المراقبة، وهذا ما فعله ثابت. وقد لعبت الفواصل الزمنية في إعداد الكاتالوكات دوراً هاماً. ويمكن لهذه الحقيقة نفسها أن تلفت الانتظار، وهي أن الفلكي الكبير ثابت بن قره تمكن من وضع نظرية متعارضة بدرجة ما مع معطيات المراقبة.

وأصبحت عملية شرح ظاهرة مباكرة الاعتدالين ضرورية بالنسبة لثابت، لأنها أصبحت سبباً للعمل بالآلية الهندسية الكينماتية، التي تمثل بالنسبة له الاهتمام الأول بعلاقتها مع الرياضيات البحتة، ولهذا فانه عندما توجه إلى مسائل فلكية أخرى، قام بوضع وحل مجموعة المسائل الرياضية في ذلك الوقت.

وان عدم استكمال موديل ثابت، ومن وجهة نظر الفلكيين دفع إلى وضع موديل آخر أكثر تكاملاً، وقام ابن الزرقالة بوضع موديله. وخلافاً لموديل ثابت فان موديل ابن الزرقالة تعارض مع التقليد البطليموسي. واختلف أيضاً مركز الدوران الذي يتحرك عليه قطب دائرة البروج، فقد وضعه ابن الزرقالة على الكرة السماوية نفسها، وليس على مستوى دائرة البروج كما فعل بطليموس، حيث يستبعد أي تغير لمسافة الجوم عن المراقب.

لم يكن موديل ابن الزرقالة مرض أيضاً. ولكنه يشكل من وجهة نظر تاريخ الطرائق الكينماتية اهتماماً خاصاً، وذلك لان في هذا النموذج من الموديلات تكمن

ولادة للاتجاه اللابطليموسي في النمذجة الهندسية – الكينماتية، والتي قام بتطويرها البطروجي، وانتشرت فيما بعد على نطاق واسع في أوربا الغربية.

بعد مضي مئتا سنة على صدور نظرية مباكرة الاعتدالين ومباشرة بعد ابن الزرقالة، رفضت الحركة التقدمية والحركة التراجعية لنقطة الاعتدال الربيعي، وحاولوا استخدام آلية المباكرة في تفسير تغير سرعة الحركة الاهتزازية. وقد انطلق البطروجي (هو أبو اسحق نور الدين البطروجي، من علماء الأندلس – المترجم) من أن نقطة الاعتدال الربيعي تتحرك بشكل دائم وباتجاه واحد (تتبع إشارات الزودياك) ولكن بسرعات متغيرة.

ويقول قطب الدين الشيرازي (هو قطب الدين محمود بن مسعود بن مصلح الشيرازي، ولد في شيراز عام ١٢٣٦ م، تتلمذ على يد الطوسي، له مؤلفات باللغة العربية وهو يأخذ بنظرية أن الأرض في حالة السكون وأنها تقع في مركز الكون – المترجم) عن تباطؤ وتسارع هذه الحركة، ويشير بالوقت ذاته إلى محاولة عظيمة في شرح عملية مباكرة الاعتدالين، وتغير ميلان دائرة البروج بواسطة آلية واحدة. ويتصور الشيرازي الحركة الاهتزازية (المباكرة) على شكل مجموع جبري لحركة اهتزازية متساوية وغير متساوية – التصحيحات على عدم التساوي.

ويفسر عدم التساوي هذا تفسيراً كينماتياً بمساعدة الحركة الاهتزازية المتوافقة، التي تتم على دائرة البروج، أما حساب تغير ميلان دائرة البروج فيتم بمساعدة الحركة المتساوية الاتجاه العمودي على دائرة البروج.

ويؤدي مجمل المسألة إلى عملية معقدة لحركتين اهتزازيتين متوافقتين ومتعامدتين. كما يؤدي الموديل الهندسي لقطب الدين الشيرازي إلى الحصول على شكل مميز "ثماني" والذي يظهر فيه تماس لدائرتين صغيرتين الواحدة بالنسبة للأخرى، ومركزان يتوافقان مع قطبي الاستواء ودائرة البروج.

لمدخل الشيرازي في حل هذه المسألة علاقة وثيقة مع نظرياته عن حركة الأجرام السماوية، وتتفرع بشكل منطقي ونظامي من التصورات حول علاقة الحركة الدوارة والحركة الاهتزازية المتفقة مع أستاذه الطوسي. ويشاهد مخطط رسم قريب جداً

من رسم الطوسي، وجد فيما بعد عند بييرباه وريجيومونتانوس (اسمه الأصلي يوهانز مولار – المترجم).

أما الفكرة نفسها لموديله فهي قريبة جداً من نظرية مباكرة الاعتدالين لكوبرنيكوس (قريبة إلى حد التماثل في المخطط الهندسي، وبصورة معقولة مع حساب موديل مركزية الشمس عند كوبر نيكوس).

والسؤال الذي عملت به مدرسة الطوسي هو هل كان هناك تأثير لعمل مدرسة الطوسي على النظرية المعقدة لمباكرة الاعتدالين عند كوبر نيكوس. ما زال هذا السؤال مفتوحاً. ولكن في حديثه عن مباكرة الاعتدالين يعتمد من علماء الشرق في العصر الوسيط على البتاني وابن الزرقالة فقط، في معطيات المراقبة التي استخدمها.

الطرائق اللابطليموسية:

النمذجة الكينماتية – الهندسية:

استطعنا أن نتحقق من كبار علماء الميكانيك والفلك في الشرق الأدنى والأوسط في بلاد الحضارة الإسلامية انطلقوا في تصوراتهم الكينماتية (ومثل هذه التصورات، كما اشرنا أعلاه تعرضت بشكل أساسي إلى نمذجة حركة الأجرام السماوية) من نظام بطليموس.

وقد تحققوا واثبتوا الموديلات البطليموسية المستخدمة في حركة الأجرام السماوية. ولكن هذه المواضيع لم تكن مسائلهم الأساسية. فالنمذجة الهندسية الكينماتية شكلت مركز الانطلاق الرئيسي من اجل تطور طرقهم الخاصة في العمل بالمشاكل الحقيقية في الرياضيات والميكانيك.

وفي ذلك الوقت فان نظام بطليموس في كثير من جوانبه لم يرض علماء البلدان الإسلامية، ويرجع سبب عدم الرضى إلى سببين :

السبب الأول هو التناقض في بعض منظومات بطليموس في المبدأ الأساسي لكينماتيك الأجرام السماوية التي جاءت عن بطليموس وأرسطو، والتي تقول أن حركة الأجرام السماوية يمكن أن تكون متساوية ودائرية فقط، وتختلف

مبدئياً عن الحركات "المكانية" على الأرض، والتي يمكن أن تكون خطية ومتساوية[١]. إضافة إلى ذلك فان نظام بطليموس دخل في تناقض مع المسلمات الارسطو طاليسية عن عدم تغير مسافة الأجرام السماوية عن مركز الكون أثناء حركتها، أي عن المبدأ الأساسي لموديل المخططات المركزية لـ يفدوكس، التي أخذها وطورها فيما بعد أرسطو.

أدت هذه المعارضة الشديدة إلى ظهور نظريات مستقلة حول اللامركزية، والدوار نية الفوقية، وذلك لأنها بنيت على مفاهيم رياضية بحتة، وتشكل خطوطاً مجردة (وهمية) ومراكز للدوائر لا ترتبط مع الأجسام المادية بأي شكل من الأشكال، وهذا يتعارض مع المبادئ الكونية لأرسطو.

ومن جانب آخر لا بد من وضع موديلات جديدة كانت مطلوبة ليس تجريدياً ومدرسياً فحسب، وا إنما لاستكمال موديل بطليموس، الذي كان في بعض الحالات للقمر والكواكب (خاصة عطارد) والذي وقع في تناقض مع معطيات مراقبات الرصد. وقد تطلب تطور كل من الجغرافيا والمساحة والملاحة البحرية تدقيق الطرائق في تحديد الإحداثيات للكواكب المختلفة، وهذا العمل لم يكن أقل، إن لم يكن أكثر سعياً لمحاولة العمل بنظريات جديدة أكثر اكتمالاً، تمكنت من تحديد درجة عدم الدقة والتناقض في الموديل البطليموسي. وكان السبب المباشر بالمعنى الكينماتي الضيق لهذا الاتجاه في نقد بطليموس، هو محاولة إيجاد تلك النقطة التي تكون حركة الأجرام المساوية منتظمة بالعلاقة معها. وبهذا الشكل لم يختل المبدأ الأساسي للميكانيك السماوي في العصور القديمة، وفي الشرق في العصر الوسيط.

وكان هذا في تلك الفترة مشروطاً بظهور الموديلات اللامركزية، والحركات الدورانية الفوقية، ومفهوم الاكفانت، ونظرية البسيكتسيا، عندما تبين أن الموديلات البسيطة غير كافية.

---

(١) كما أشرنا أن المفهوم البطليموسي للاكفانت المقدمة من أجل شرح حركة الكواكب تدخل معها في تناقض على مقياس محدود.

ونظراً لعدم رضى بطليموس عن الموديل البسيط، فقد عمل نموذجاً معقداً لحركة القمر، ولكن تبين أن هذا الموديل غير كامل أيضاً، وبقي على مدى فترة زمنية طويلة عرضة للنقد من قبل فلكيي العصر الوسيط في الشرق، وكان هذا النقد بشكل رئيسي في اتجاهين: وقع الموديل الذي استمر به بطليموس في تناقض مع مبدأ الحركات الدائرية المنتظمة للأجرام السماوية. وثانياً واتفاقاً مع موديل بطليموس فان حساب قيمة المدار القمري اللامركزية وقع في تناقض مع نتائج مراقبات الرصد، ولهذا فان المسافة المحسوبة بين الأرض والقمر على أساس هذا الموديل، تبين أنها أقل بكثير وبشكل واضح عن المسافة الناتجة عن عمليات المراقبة. وظهرت هذه التناقضات كحجة وكانت سبباً من اجل العمل في مثل هذه المخططات، والتي تحددت فيها نقطة خاصة بالنسبة لكل جرم. وعند المراقبة من هذه النقطة فان السرعة الزاوية لمركز الدوران الدوار يجب أن تكون في حركته وتغيره ثابتاً، أي يجب أن يدور الجرم على الدائرة بشكل منتظم.

ارتبط هذان الاتجاهان في القرنين الثاني عشر – الرابع عشر ميلادي باتجاهين رئيسيين لتطور الطرائق اللابطليموسية في نمذجة حركة الأجرام السماوية، والتي تغيرت على أساسها الطرائق الجغرافية أيضاً. ويمكن تسميتها شرطياً بالاتجاهات الشرقية والغربية. بالنسبة للاتجاه الغربي حظي بتطور في العالم العربي الاسباني، ويتميز أنه سعي لتقديم الموديلات البطليموسية اتفقاً مع أسس علم الكونيات عند أرسطو، وبشكل خاص مع أسسه الديناميكية "الكينماتيك السماوي". وقد تواجد في العالم العربي الإسلامي (في ذلك الوقت) مجموعة متكاملة من كبار العلماء الارسطو طاليسيين اللذين رفضوا نظام بطليموس، وطرحوا جانباً مفهوم الدورة اللامركزية، والحركة الدوارة الفوقية. وفي هذا الحصن للارسطو طاليسية فقد تمسكت بجميع الوسائل لمنظومة يفدوكس – أرسطو، التي قام بنشرها ابن رشد، أما ابن باجة، فقد رفض الحركة الدوارة الفوقية، وأقر بحقيقة محدودية النظرية اللامركزية.

ومن خلال محاولة تعديل نظام بطليموس تمكنوا من الحصول على عدة تركيبات (تصميمات) للكرات المركزية، التي أيدت فكرة عدم تغير مسافة الجرم عن بعض النقاط المختارة في الكرة السماوية.

وأكثر هذا الاتجاه وضوحاً نجده في مقالات أحد كبار علماء العالم الاسباني العربي وهو البطروجي في كتابه " أسس علم الفلك " الذي عرف فيما بعد في أوربة الغربية.

أما بالنسبة للاتجاه الشرقي فان ممثليه الأساسيين علماء المدرسة العلمية في المراغة، حيث وضعوا نصب أعينهم مسألة إصدار نموذج (موديل) يمكن أن يكون أقرب ويتوافق مع مراقبات الرصد في ذلك الوقت، وبالوقت نفسه لا يخل مبدأ الحركة الدائرية المنتظمة. وهنا يمكن ذكر ثلاثة من كبار أصحاب هذا الاتجاه وهم:

" نصير الدين الطوسي "مؤسس المدرسة العلمية في المراغة، و " قطب الدين الشيرازي " وهو أقرب التلاميذ إلى معلمهم الطوسي، وقد ارتبط مع هذه المدرسة باهتماماته العلمية، و " وأبو حسن الأنصاري " والمشهور أكثر بابن الشاطر (القرن الرابع عشر).

سنتعرض في البداية إلى الطرائق اللابطليمومسية المحفوظة والاكثرها قدماً، وذات الاتجاه الغربي – موديل البطروجي.

موديل البطروجي:

كان هدف البطروجي كما يقول هو إصلاح مبادئ النمذجة بالشكل الذي من خلاله لايرفض نظام بطليموس، ويقدمه بشكل يتوافق مع المبادئ الفيزيائية عند أرسطو. ويشير البطروجي أن خلافه مع بطليموس ينصب في انتقاده للجانب النوعي فقط في نظام بطليموس، أي ينتقد مبادئ النمذجة نفسها، وفي الوقت نفسه يأخذ القيم الكمية عن بطليموس دون أي تغيير.

أما المبادئ الديناميكية عند البطروجي في الميكانيك السماوي لذلك العصر فقد تم الحديث عنها سابقاً. ويتكون جوهر موديله الكينماتي السماوي بأنه يربط كل آلية

لحركة الجرم السماوي مع سطح كرته. أما بالنسبة للجرم الثابت فهو ثابت على كرته بالشكل الذي يجعل مسافته عن مركز الكون وفي جميع الحركات ثابتة. ويتحدد الاختلاف بين كرات الأجرام على وضع الأقطاب فيها. كما تتحدد حركة كل جرم بحركة قطبه – بنقطة ما على سطح كرة الجرم على مسافة ٩٠° عنه، والموجودة بدورها على طرف قطب الاستواء السماوي. وأبسط الموديلات، هو الموديل الذي يشرح حركة الشمس .

وينظر البطروجي إلى الكرة السماوية بعد إقامة خط الاستواء السماوي عليها، ودائرة البروج والدائرة الصغرى لخط التباين مع المركز على قطب خط الاستواء السماوي. ويجب أن يكون نصف قطر خط التباين مساوياً لميلان دائرة البروج. وبهذا الشكل فان كل وضع للشمس أثناء حركتها على دائرة البروج يتوافق مع وضعية محددة لقطب هذه النقطة على خط التباين. وتظهر حركة قطب دائرة البروج على دائرة التباين أسرع بمرتين من حركة الشمس على دائرة البروج نفسها. وبهذا الشكل فمن اجل تحديد نقاط الاعتدالين والانقلابين يفترض وقوع الشمس على مسافة ٩٠° عن قطبيها. ومن جانب آخر لا بد من عكس تساوي حركة الشمس على دائرة البروج، ومن اجل ذلك يجب أن نتصورها على شكل مجموع " متوسطي" (متساو) للحركة لعدم التساوي الشمسي. (القيم الأساسية عند البطروجي أخذها عن بطليموس). في الحقيقة استخدم البطروجي الموديل اللامركزي لحركة الشمس، ولكن لم يكن موضوع في دائرة البروج كما فعلكيبارة وبطليموس، وا ٍنما وضعه على سطح كروي، أي يمكن القول ببساطة انه تكلم عن التشابه الكروي لموديله المستوي. ويلعب قطب خط الاستواء في موديل البطروجي دوراً هاماً في تحديد نقطة الرصد في الموديل اللامركزي.

إذا كان بالإمكان أن ينظر إلى موديل البطروجي لحركة الشمس كتشابه كروي للموديل اللامركزي، عندها فان موديله لحركة الكواكب قريب من الموديل الدوار الفوقي. وهذا في الحقيقة تشابه كروي للموديل الدوار الفوقي البسيط، والموجود في طرف سطح الكرة السماوية على طرف القطب الشمالي لخط الاستواء، الذي يتحكم

بحركة الكواكب على طرف دائرة البروج. وقد أهمل البطروجي التباين الدوار الفوقي، ولم يشر إلى الاكفانت.

ومن الطبيعي جداً لو أخذنا بعين الاعتبار مدى توافق موديل البطروجي مع معطيات مراقبات الرصد، لظهر هذا الموديل أقل دقة من الموديل البطليموسي .

ما هي مصادر نظام النمذجة عند البطروجي؟ وبما تتعلق جذورها الفلسفية، وهنا طبيعياً أنها تنطلق من النظام الكوني عند أرسطو، وصارت خصائصها الكينماتية المحضة مجالاً للنقاش (الجدل) عند الباحثين المعاصرين. فمن جانب أول يتمسك البطروجي في نمذجته بمبدأ الكرات المركزية، وهذا تطلب الافتر اض بأنه أصبح إشارة مباشرة لموديل يفدوكس نفسه. رغم انه لم يشر ولو بإشارة بسيطة عن يفدوكس في بحث البطروجي. ومن الواضح أن نظرية يفدوكس كانت معروفة بالنسبة للبطروجي بنفس الدرجة التي كانت معرفته بالكونية الارسطو طاليسية. ومن جانب آخر فان الموديل الكوكبي للبطروجي يذكر والى درجة كبيرة بموديل الترابيداتسيا لابن الزرقالة. ومن المشكوك فيه أن يكون حدث ذلك صدفة، وذلك لان البطروجي يشير في احد فصول بحثه إلى ابن الزرقالة، الذي يضمن فيه نظرية الترابيداتسيا، ويعيدها إلى درجة كبيرة في فصل حركة النجوم الثابتة. إن الموديل الكوكبي للبطروجي مأخوذ ببساطة عن موديل الترابيداتسيا لابن الزرقالة، إذا نظر إلى مكان نقطة الاعتدال في آليتها على أنها كوكب. ولكن من المعروف أن موديل الترايبيداتسيا نفسه لابن الزرقالة وضع بتأثير محدد لنظرية يفدوكس، من خلال التقليد الارسطو طاليسي.

ما هي القيمة التاريخية لموديل البطروجي؟ إن الهدف الذي وضعه البطروجي أمامه من خلال موديله يفترض انه هل يمكن أن يصل موديله إلى هدفه: يشكل موديله في الحقيقة مقالة لمبدأ عدم تغير مسافات الأجرام السماوية عن الأرض بواسطة موديلات لا مركزية ودورا نية فوقية بسيطة. ولكن قيمة هذا الموديل بالنسبة للتطبيق الفلكي ظهرت وبصورة ليس فيها مجالاً للمقارنة انه أدنى من نظام بطليموس. ويتناقض هذا الموديل من حيث القيم وعلى در جة كبيرة مع بارامترات (القيم) "المجسطي"، وكذلك مع مراقبات الرصد اللاحقة –

وهذا نتيجة للدغماتية (التعصب) الموجودة في نمذجة البطروجي. ولكن رغم ذلك كله كان واحداً من أولى المحاولات في نقد بطليموس، وكذلك إدخال تقليدين اثنين في موديل واحد، والذي أصبح على مدى سنوات طويلة الأساس في ميكانيك الشرق في العصر الوسيط.

استخدم وعرف بحث البطروجي على نطاق واسع بين العلماء الأسبان – العرب بين القرنين الثاني عشر – الرابع عشر. وقد كانت التناقضات الموجودة بين نظامي أرسطو وبطليموس موضوعاً للنقاش والجدل وعلى مدى فترة زمنية طويلة بين أنصار الكونية النظرية، وكانت موديلات البطروجي هي أداتهم الضرورية. وفيما بعد تعرض بحث البطروجي للشرح والتعليق على نطاق واسع في أوربا في العصر الوسيط. ولا بد من الأخذ بعين الاعتبار، أن "المجسطي " كان أول ما ترجم إلى اللغة اللاتينية على يد هيراردو كريمونسكي في القرن الثاني عشر، ولذلك لم ينتشر بشكل واسع. والذي سيطر في أوربا هو كونيه أرسطو (على الشكل الذي قدمها به ابن رشد) التي كانت معروفة ومقبولة من قبل نظريي العصر الوسيط، ولهذا فان موديلات البطروجي درست بجدية وشرحت وعلق عليها. وقد كان العلماء في عصر النهضة يشيرون إلى موديلات البطروجي في كافة النقاشات والمحاورات التي تدور حول حركة الكواكب، وبشكل خاص أشار إليها كوبر نيكوس.

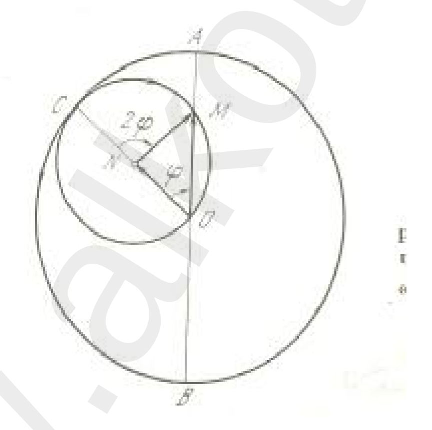
الموديل القمري والموديل الكوكبي للطوسي:

انطلق أنصار الاتجاه الشرقي في محاولاتهم لحل التناقض في نظام بطليموس من ذلك، أنه لشرح حركة كل جرم من الأجرام لا بد من أيجاد تلك النقطة، التي عندما تكون المراقبة منها تصبح السرعة الزاوية لمركز دائرة البروج للكوكب ثابتة أثناء حركته على خط التباين، أي بحيث يتحرك الكوكب على خط توازنه. وقد ذكرنا أعلاه أن هذه الشروط أنجزت في الموديلات البسيطة الشاذة، وموديلات التباين الفوقي الدوار لشرح حركتي الشمس والقمر، ولكن بواسطتها (الموديلات) لم يكن بالإمكان تفسير حركة الكواكب، وحتى حركة لقمر أيضاً. وفي نظرية الاكفانت التي وضعها بطليموس، انطلق من أن حركة مركز دائرة البروج على خط التباين ليست متساوية.

وأول موديل وضع من حيث الفترة الزمنية لهذه الحركة، والذي أنجزت من خلاله شروط التساوي وأعطت توافقاً مقبولاً مع معطيات الرصد هو ما قام به نصير الدين الطوسي (١٢٠١ –١٢٧٤ م). وقد سمي هذا البحث " التذكرة في علم الهيئة " ويضع المؤلف في احد فصول هذا الكتاب موديله عن حركة القمر.

يبدأ الطوسي بأبحاثه من الفرض الهندسي، الذي أصبح فيما بعد معروفاً بشكل جيد من قبل فلكيي الشرق، ومضمونه يتألف من التالي:

نفرض أن دائرة قطرها يعادل OC=d تدور بسرعة زاوية φ حول دائرة أكبر قطرها يعادل AB= ٢D ويلامسه داخلياً، ويدور في نفس الوقت حول مركز خاص بسرعة زاوية تعادل φ ٢ بالاتجاه المعاكس لاتجاه الاهتزاز (الزحزحة). عندها فان النقطة الاختيارية لدوران الدائرة الصغيرة تتحرك وفق وضعها الأولي – على نقطة التماس، وسوف تنجز حركة مستقيمة خطية على طول قطر الدائرة الكبرى (شكل ١٠).



شكل – ١٠– رسم يبين إثبات فرضية الطوسي

بهذا الشكل يحصل الطوسي على الحركة المستقيمة الخطية كنتيجة مركبة من حركتين دائريتين. وا إذا استخدمت مصطلحات الحساب القوسي ونظرية الآلية (الميكانيكية)، يمكن تصور تركيب هذه الحركات الدورانية كحركة مزدوجة (زوجية) مؤلفة من حلقتين من الأقواس المتساوية الطول CN و NM ،

وتدوران بسرعة زاوية ثابتة، عندئذ ستكون سرعة القوس الثاني ضعف سرعة القوس الأول، وتكون جهتها بالاتجاه المعاكس (اتجاه الدور ان). وفي هذه الحالة فان نهاية القوس الثاني تصنع تقلباً اهتزازياُ متناسقاً بسيطاً، ويمكن النظر إلى أي وضع من أوضاعه كمجموع دورتين منتظمتين، أما طول القوس الناتج فيتغير دورياً من الصفر وحتى AO.

لقد وضع الطوسي الفرض الهندسي هذا في صلب موديله بالنسبة لحركة القمر. ثم أقام فيما بعد كرتين " كرة صغيرة " و " كرة كبيرة ". وتدور الكرة الصغيرة داخل الكرة الكبيرة. وتشكل كل من الدائرة الكبيرة والدائرة الصغيرة في الفرض الهندسي دائرتين، كبيرة وصغيرة لهاتين الكرتين، أي تتم زحزحة الكرة الصغيرة على دائرة الكرة الكبيرة. وبالنسبة لنقطة ما أقام الطوسي " كرة معلومة " يعادل قطرها قطر الدائرة الكبرى في الفرض الهندسي. وتحتوي هذه الكرة على كرة بداخلها، تتمركز معها ومتعلقة بها بشكل قوي. وهنا تصبح الكرات الأربع ذات علاقة مع بعضها البعض. ويقع مركز الكرة " المعلومة " والكرة الموجودة بداخلها على قطر الكرة الكبيرة.

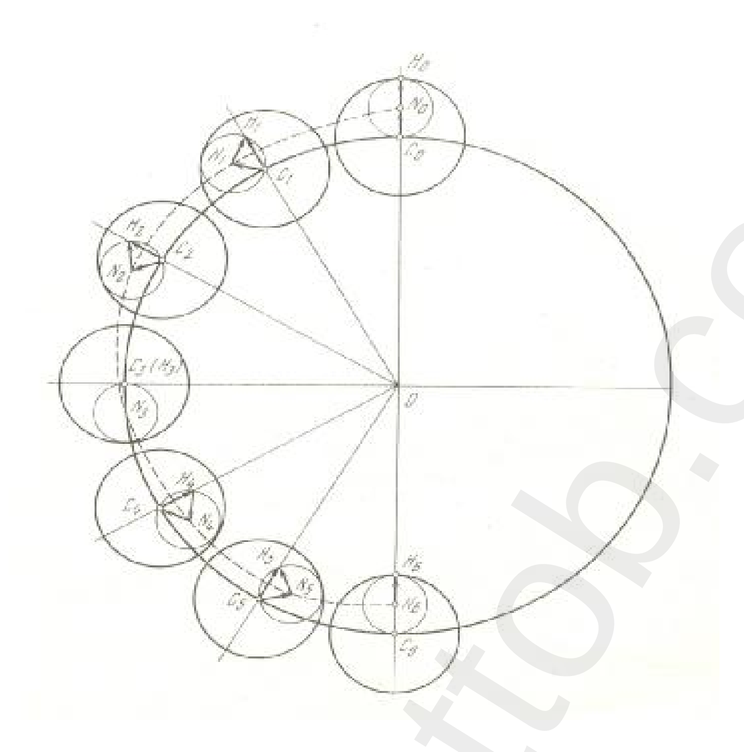
ويستخدم الطوسي الآن الكرة " المعلومة " لكرة الدوران الفوقي للقمر. ويعادل قطر الكرة " الصغيرة " شذوذ مدار القمر (أي في موديل بطليموس هو المسافة بين مركز التباين ومركز الكون)، آما قطر الكرة " الكبرى " فهو اكبر بمرتين. أما النظام بكامله والمؤلف من أربع كرات فموجود في غلاف كروي معين، أطلق عليه الطوسي اسم كرة التباين (التغير). وكرة التباين هذه محاطة بدورها " بكرة مائلة "، أقيمت من اجل حساب حركة القمر على خط العرض. وتدور كرة دائرة البروج " بسرعتها الخاصة " كما يقول الطوسي والتي تعادل 2φ بالاتجاه المعاكس لاتجاه دوران الكرة الكبيرة. وتدور كل من الكرة الكبيرة وكرة التباين بسرعة زاوية واحدة تعادل φ ، وينهيان دورتين في الوقت الذي تكمل فيه دائرة البرو ج دورة واحدة. أما الكرة " الصغيرة " فتكون دورتها بالاتجاه المعاكس وبسرعة زاوية تعادل 2φ .

ويقدم الطوسي فيما بعد تحليلاً لهذه لحركات الناتجة عن جميع الكرات وّيذكر المنحني الذي يرسمه مركز الدوران الفوقي بالدائرة، ولكن ليست دائرة منظمة

تماماً ". ففي الوضع الابتدائي (الأولي) تقع في نقطة الأوج للموديل القمري البطليموسي، أي في نقطة الالتحام أو في النقطة المقابلة للمتوسط الشمسي، ويقع مركز الدوران الفوقي على نقطة التماس بين " الكرة الكبيرة " و" الكرة الصغيرة ". ويتطابق في المربعات مع مركز الكرة الكبيرة. وتعادل مسافة المركز في هذه النقاط عن مركز الكون مسافة قطر التباين البطليموسي من مركز هذه النقطة.

وبهذا الشكل يكون مسار المركز الدوار الفوقي موجوداً في هذه النقاط، وهنا يبتعد الطوسي إلى مسافة أعظمية عن التباين البطليموسي. أما بالنسبة لنقطتي الأوج والحضيض فيتوافقان مع النظام البطليموسي. أما بالنسبة للمركز الدوار الفوقي فلا يشكل دائرة في موديل الطوسي، ولكن يصنع شكلاً بيضاوياً كما هو في الموديل البطليموسي.

ويقدم الطوسي فيما بعد شكلاً مشابهاً في نمذجته لحركة الكواكب. نفرض ان المركز O أكبر من دائرة " الفرض الهندسي " للطوسي، وتتحرك على دائرة معينة قطرها اكبر بما فيه الكفاية. وتدور الدائرة الصغيرة داخل الدائرة الكبيرة وبزاوية ميلان تعادل φ ، وتدور الدائرة الكبيرة في الوقت نفسه بسرعة زاوية تعادل 2φ في الاتجاه المعاكس لاتجاه الحركة الاهتزازية (الزحزحة) ومع اتجاه حركة مركز الدائرة الكبيرة . وحتى يرسم مركز الدائرة الكبيرة دائرة كاملة، فان النهاية الثانية من زوج الأقواس في دائرة الفرض الهندسي عند الطوسي (تكون في الوضع الابتدائي O= φ – وهذا يعني أنها نهاية قطر الدائرة الصغيرة) ترسم دائرة، تتقاطع مع الدائرة " المعلومة " في نقطتين. وفي هذه الحالة فان مركز الدائرة الصغيرة G1يرسم منحنياً بيضاوياً ما، يتطابق مع الدائرة المعلومة في نقطتين متناظرتين تقعان على مسافة ± ٩٠° من نقطة البداية (شكل ١١).



شكل ١١– مخطط الطوسي في الحصول على القوس الموصوف في مركز الدوران

نفرض الآن أن الدائرة " المعلومة " – تباين الكواكب في موديل بطليموس، بحيث يكون قطر الدائرة الصغيرة، مساوياً للتباين الفوقي الدوار، أما طول كل واحد من زوج الأقواس فأقل منه بمرتين. ويتحرك مركز الدائرة الكبيرة على التباين، ويتحرك مركز الدائرة الصغيرة على شكل منحن يختلف عن المركز بقيمة ليست كبيرة، ويتطابق مع التباين في المربعات فقط. أما نهاية القوس الثاني –وهو مركز الدوران الدوار – فانه يتم اهتزاز (زحزحة) منتظم. أما القوس الناتج للزوج فيغير بشكل مستمر من طوله واتجاهه. وبهذا الشكل فان نهاية الزوج، أي مركز الدوران الدوار يتحرك على منحن ما، يتوافق مع التباين البطليموسي في نقطة الأوج، ونقطة الحضيض وفي المربعات، ويختلف عنه قليلاً (عن البطليموسي) بفواصل النقاط.

بهذا الشكل يغير مركز الدوران الدوار من وضعه بالنسبة لمركز التباين بشكل مستمر، ويقترب ويبتعد منه بشكل دوري.

ما هو المغزى الميكانيكي للموديلات الحديثة؟

شاهدنا أعلاه، أن موديلات بطليموس القمرية والكوكبية تطلبت تحايلاً معقداً، حتى لا تتناقض هذه الموديلات مع معطيات الرصد، هذا من جانب، ومن جانب آخر حتى لا تخل بالشروط الموضوعة، بحيث تبقى حركات الأجرام السماوية مؤلفة من تصميمات للحركة الدائرية المنتظمة فقط. وهذا في نظرية الشذوذ البسيط التي بني على أساسها موديل حركة الشمس والموديل البسيط للقمر عند كيباره، ويمكن تصميم هذا الموديل بسهولة: فبالنسبة للمراقب (الراصد) من مركز الكون تبقى السرعة الزاوية لحركة المركز الدوار الفوقي للجرم ثابتة. أما في النظرية البطليموسية لحركة القمر والكواكب فان هذا المبدأ يختل عملياً: أما بالنسبة للمراقب من مركز الكون فان السرعة الزاوية لحركة الدروان الفوقي فهي كما هو الحال في نموذج القمر وكذلك في موديلات الكواكب فلا تكون ثابتة. ففي الحالة الأولى وكما هو معروف فان مركز التباين نفسه يتحرك على الدائرة، أما في الحالة الثانية فان مركز الدوران الفوقي لا يتحرك حول مركز التباين، وا إنما يتحرك حول مركز الاكفانت. وفي كلا الحالتين فان حركة مركز الدوران الفوقي التي تراقب من مركز الكون لا تكون منتظمة. وبهذا الشكل ففي الموديل القمري وفي نظرية البيسيكتسيا (نظرية الاكفانت) يختل الانتظام في مبدأ الدوران.

ويمكن أن ينظر إلى قطر – القوس لمركز الدوران الفوقي في نظرية البيسيكتسيا كنتيجة لمركب قوسين: يحافظ القوس الأول على طول ثابت، ولكن يدور بسرعة زاوية متغيرة.

ويسير الطوسي في كلا موديليه (القمري والكوكبي) بنفس الميكانيك والفلك م–١٥ يرفض مبدأ الحركة الدائرية المنتظمة، ولكنه كما يقال باللغة المعاصرة يقدم زوجاً من الأقواس ذات الطول الثابت والمتساوي (أطلق عليهما اسم زوج الطوسي) وكل واحد

من هذا الزوج يتحرك بسرعة زاوية ثابتة، ويصنع على الدائرة حركة على شكل خط مستقيم (تغير منتظم) ويتوضع هذا الزوج في نهاية القوس، الذي ينطلق من الاكفانت. وبهذا الشكل فان المخطط الكوكبي للطوسي يحتفظ بالاكفانت بهذا المعنى، حيث انه يوجد لكل كوكب(١) نقطة خاصة مرتبطة به، مثل هذه النقطة عندما تكون المراقبة منها تبقى السرعة الزاوية لمركز الدوران الفوقي ثابتة. ويمكن أن تكون حركة مركز الدوران الفوقي في هذه الحالة كنتيجة لقوسين أيضاً : لهما طول واتجاه ثابتين (المسافة من مركز الاكفانت وحتى مركز الكون)، والقوس الثاني (المسافة من مركز الاكفانت وحتى المركز الدوار الفوقي) ويكون طوله متغير، ولكن يدور بسرعة زاوية ثابتة. ويتشكل الطول المتغير على حساب الطول المتغير الدوري والناتج عن قوس " زوج الطوسي ".

لا يتفوق الموديل القمري للطوسي على الموديل البطليموسي من حيث دقة التطابق مع معطيات الرصد، ولكن بمعنى معين فهو أقل من البطليموسي دقة. ولكن تأتي أهميته العظيمة (الموديل القمري والموديل الكوكبي) بأنه يحطم الموديلات السابقة، التي استخدمت على مدى عدة قرون على أساس مبادئ متناقضة بشكلين من أشكال الحركة:

الدورة الكاملة والدورة المنتظمة، والمميز لحركة الأجرام الأرضية، تشكل اتفاقاً مع دراسات أرسطو هوة عميقة .

وكان دور الطوسي أنه نصب " جسراً " عبر من خلاله هذه الهوة القائمة، مبيناً أن الحركة الخطية " المكنية " تساهم في حركة الأجرام السماوية بشكل متساو مع دوائر متساوية.

بالإضافة إلى هذا فان نظرية الطوسي هامة جداً وتشكل خطوة أساسية في حل إحدى المشاكل الأساسية في علم الفلك الرياضي – وهي مشكلة المنحني

---

(١)وضع بشكل استثنائي من أجل كوكب عطارد، ويبدو أن موديل الحركة هنا معقد جداً.

المطلوب إيجاده بمساعدة منحن آخر، وبكلمة أسهل تمكن من حساب طرق التقييم الدقيق للتباين الاعظمي فيما بينهم.

موديل الشيرازي:

نعود الآن إلى أعمال قطب الدين الشيرازي (١٢٣٦- ١٣١١ م) الباحث وتليمذ الطوسي، الذي عمل معه جنباً إلى جنب في مرصد المراغة. وقد وصلنا من أعماله بحثين يتصديان لحركة الأجرام السماوية، كتبا في نهاية القرن الثالث عشر (الأصح كما تشير وفاة الشيرازي نهاية القرن الثاني عشر – المترجم) واللذان حفظا في عدد كبير من النسخ.

إن الموديل الكوكبي للشيرازي الذي استخدمه شخصياً في تفسير حركة جميع الكواكب، ما عدا عطارد يمكن أن ينظر إليه كمحاولة لوضع موديل يمكن أن يحل التناقض الموجود في موديل الطوسي. وبعد إلقاء نظرة على " زوج الطوسي " في ذلك الوقت، نجد أن آلية (ميكانيكية) موديل الشيرازي تؤدي إلى منظومة مؤلفة من ثلاثة أقواس.

القوس الأول له طول ثابت، وتشكل نهايته نقطة تقع في نقطة متوسطة بين مركز التباين ومركز الاكفانت.. والقوس الثاني الثابت الطول يتطابق اتجاهه مع قطر قوس " الحركة المتوسطة " للكوكب، أي الزاوية بينه وبين خط الابسيد – خط طوله الأوسط – ويخرج من نهاية هذا القوس، القوس الثالث ذو الطول الثالث، وكذلك فان طول القوس الثاني أقصر من القوس الأول، والذي يتغير اتجاهه بشكل دائم أثناء عملية دورانه حول نقطته الابتدائية. ويشكل مسقط (مرتسم) هذا القوس مع اتجاه القوس الأول تغيرات (تذبذبات) منتظمة بالنسبة لنقطة البداية. كما تشكل نهاية القوس الثالث المركز الدوار الفوقي. وبهذا الشكل يعطي الشيرازي بدلاً من " زوج الطوسي " قوساً واحداً يدور حول نهاية القوس الثاني، ويبلغ ذلك بتغير دائم لطول القوس الناتج خلال عملية حركة الكوكب.

وكان تعرض الشيرازي إلى موديل القمر بتفصيل أقل وبدرجة ملحوظة (خلافاً للطوسي)، وفي الحقيقة يمكن أن يفسر ذلك بأن ما توفر من أبحاث منسوخة عن

الكتابات التي تضمنت نظرية القمر كان لها فراغ حقيقي في النص وكذلك فقدت فيه الرسوم والمخططات العامة لمجرى الاستدلال عند الشيرازي،

ففي موديل بطليموس يحسب القوس (الشذوذ) القمري من نقطة على الدوار الفوقي، الذي يقع على امتداد الخط الواصل للنقطة مع المركز الموجود في الوضع المقابل للتباين المتحرك مع مركز الدوار الفوقي أثناء حركته على الدائرة الصغيرة. ولا يمكن الحصول على هذه النقطة بواسطة مركبات متساوية للحركات الدائرية. إضافة إلى ذلك كان لا بد من تفسير تغير نقطة الأوج للدوار الفوقي للقمر، الذي تشكله الحركة على الدائرة الصغيرة لهذه النقطة. وقد حاول الشيرازي تصميم كلاّ هذين التناقضين.

فحركة المركز الدوار العلوي للقمر تؤدي في حقيقة الأمر إلى حركة منفصلة ميكانيكية واحدة، تتألف من حلقتين: القوس، الذي تتحرك نهايته – هي مركز التباين – على الدائرة الصغيرة، والقوس الذي يوحد مركز التباين مع المركز العلوي الدوار. ولكن حتى لا يتناقض هذا مع نتائج المراقبة، تابع استخدام كلا القوسين بطولين مختلفين. ولهذا فان حركة الآلية بكاملها لا يمكن أن تكون على شكل مركب من حركتين دوارتين متساويتين.

وتوجد في موديل الشيرازي مفصلتين بثلاث آليات (ميكانيكية)، ويتألف الموديل من ثلاثة أقواس لها أطوال ثابتة، وكل واحد منها يدور بسرعة زاوية ثابتة. ولهذا فان نهاية الحلقة الأخيرة –مركز الدوران الفوقي – يمكن أن يمثل على شكل تصميم (تركيب) من حركات دائرية متساوية. وبداية القوس الأول – مركز الكون – أما نهايته فتقع في منتصف المسافة بينه وبين الدائرة الصغيرة، التي يتحرك عليها مركز التباين. ويتوحد القوس الأول مع القوس الثاني، وفي نهايته مثبت قوس دوار. وتشكل نهاية هذا القوس الدوار المركز الدوار الفوقي. وهكذا فان طول كل من هذه الأقواس يبقى ثابتاً في هذا الوضع، وحركة الآلية بكاملها يمكن أن تمثل على شكل تركيب لحركات دائرية متساوية.

وان تفسير الآلية الثانية لمشكلة بطليموس لم تصلنا. ولكن النص الذي حفظ على شكل مخطوط انقطع بالضبط عند هذه المسألة بالذات. وفي كلا المخطوطين

اللذان وصلا إلينا بقي فيهما مكان من أجل وضع المخطط الذي يتطابق مع مخطط هذه المسألة. ولم يبق أمامنا الآن إلا الافتراض أن الشيرازي استخدم في هذا المكان كما هو واضح آلية مفصلية مع زوج أو أكثر من " أزواج الطوسي".

موديل ابن الشاطر[1]:

من الإبداع الفكري في مجال علم الفلك في الشرق في الفترة المتأخرة من العصر الوسيط هو ما قدمه ابن الشاطر (١٣٠٤– ١٣٧٥/٧٦) من اتجاه جديد في علم الكينماتيك. ويعد ابن الشاطر كمرحلة علمية ختامية:

وخلافاً للطوسي والشيرازي فان ابن الشاطر لم يقم بتعديل موديل بطليموس، وا ٕنما طرحه جانباً وبشكل كامل. فقد كان هدف الطوسي والشيرازي قبل كل شيء منصب على تصحيح التناقض الموجود في مخطط بطليموس. وهذا بالضبط ما أدى إلى انحصارهما في حركة القمر والكواكب، موجهان اهتمامهما الخاص إلى كوكب عطارد، وذلك لان معطيات الرصد بالنسبة لعطارد كانت متناقضة أكثر من جميع الكواكب في موديل بطليموس.

وقد رفض ابن الشاطر التباين الشاذ البطليموسي رفضاً قاطعاً، كما، أنه طرح جانباً أيضاً نظرية البيسيكتسيا، وبالتالي استخدم طريقة جديدة في شرح جميع الأجرام السماوية المتحركة[2].

وبرفضه للتباين الشاذ والاكفانت، فقد اضطر ابن الشاطر إلى أن يغير تركيب المنظومة إلى الحركة الدائرية المتجانسة، التي تؤدي بهذه المقالة أو تلك إلى " زوج الطوسي " أو ببساطة الزوج المفصلي. وخلافاً لذلك فان ابن الشاطر لم يوفق في استكمال الشروط الأكثر تعقيداً في مخطط بطليموس، وترك مثل هذه الشروط جانباً

---

(١) هو أبو الحسن علاء الدين علي بن إبراهيم بن محمد الأنصاري الموقت المعروف بابن الشاطر. عالم في الفلك والهندسة والحساب. من آهل دمشق مولداً ووفاة (١٣٠٤– ١٣٧٥) يقال له المطعم لاحترافه في صغره تطعيم العاج –وكان موقتاً في الجامع الأموي. له كتاب " الأشعة اللامعة في العمل بالآلة الجامعة " – المترجم).

(٢)خلافاً عن الأجرام الثابتة – النجوم.

لم يكن ممكناً. فمن اجل تفسير حركة الأجرام السماوية استخدم الشيرازي الموديل الدوار الفوقي، الذي قدم فيه الدوار الفوقي الثاني. ولهذا فان موديله بقي خاصاً وهو موديل شمسي وقمري وليس بطليموسي.

إن موديل حركة الشمس – هو موديل دوار فوقي خالص، يتطابق فيه مركز التباين مع مركز الكون، أما مركز الدوران الفوقي فيتطابق مع " الشمس المتوسطة " يعني الشمس في حركته المتوسطة على التباين. وتدور الشمس من الغرب الى الشرق على خط التباين وحول مركز الكون، الذي يتطابق مع مركز التباين ونصف قطر الدوار الفوقي

يدور نسبياً مع نصف قطر التباين، وتشكل نهايته المركز الدوار الفوقي، أو "المتوسط" الشمسي، وبنفس السرعة ولكن بالجهةالمعاكسة. ويتحر ك على مركز الدوار الفوقي مركز دوار فوقي آخر، نصف قطره أقل بمرتين من نصف قطر الدوار الفوقي الأول. واتجاه دورانه يتطابق مع اتجاه دوران الدوار الأول. وتتشكل نقاط الدوار الثاني في لحظة دوران جميع المنظومة مسارات الحركة الحقيقية للشمس. ويحيط بكامل منظومة التباين وبكلا الدوارين الفوقيين للشمس بما يسمى الكرة المحيطة (الضامة) والتي يعادل نصف قطرها مجموع أنصاف أقطار التباين ونصفي قطري الدوارين الفوقيين. وتتحرك هذه الكرة من الغرب إلى الشرق ودورتها اليومية لا تشكل قيمة تذكر، وتبلغ هذه القيمة ١° كل ٦٠ سنة مصرية. وبهذا الشكل فان ابن الشاطر يدخل في موديله حركة نقطة الأوج للشمس، أي ظاهرة مباكرة الاعتدالين (الترنح)، وفي النتيجة يدخل تصميم (تركيب) لهذا الدوران يظهر من خلاله تغير القطر الظاهري لمدار الشمس، بالغاً نقطة حده الاعظمي وحده الأدنى.

ينطلق ابن الشاطر في نظريته عن حركة القمر، من أن مدار القمر يميل على دائرة البروج بزاوية O° ، وتتم حركة القمر من الشرق إلى الغرب ويتألف الموديل الذي يقدمه من التالي: تباين القمر طول نصف قطره r1 ويدور من الشرق إلى الغرب حول مركزه، ويتطابق هذا المركز مع مركز الكون. وتتوافق حركة نقاط التباين مع الحركة " المتوسطة " للقمر . ويتحرك على التباين نظام مؤلف من دوارين

مؤقتين اثنين، الأول بنصف قطر طوله r2 ويدور بالاتجاه المعاكس للحركة " المتوسطة "للقمر. ويتوافق هذا الموديل الفوقي الدوار الأول بعبارة تحليلية مع عدم التساوي الأول للقمر. ومن أجل تفسير عدم التساوي الثاني يقدم ابن الشاطر الدوار الفوقي الثاني بنصف قطر يعادل r3، والذي يتوضع عليه القمر نفسه. وبهذا الشكل فان المجموع الهندسي للحركتين الدوارتين الفوقيتين يتطابق مع مجموع عدم التساوي الاثنين للقمر في الجداول. ويبلغ الحد الاعظمي لهذا المجموع في المربعات، عندما يكون الخط الذي يوحد بين الأرض والقمر "المتوسط " مماساً لنقطة أوج الدوار الفوقي الثاني.

وقد صمم ابن الشاطر موديلاً مشابهاً من أجل شرح حركة الكواكب وقد اختاره كما هو الحال عند الطوسي والشيرازي (وربما كما هو عند بطليموس)، أما بالنسبة لشرح حركة عطارد فقد وضع موديلاً خاصاً. وفي الموديلات الكوكبية عند ابن الشاطر فان عدد عناصر المنظومة للأقواس هو واحد بالنسبة للكواكب الخارجية وكوكب الزهرة. وتتميز هذه المنظومة بأطوال أقواسها وبالسرعة الزاوية فيها.

يشكل مخطط حركة الكواكب الخارجية والية كوكب الزهرة آلية مفصلية تتألف من أربعة أقواس r1، r2، r3،r4 ويمثل القوس r1 نصف قطر التباين، ويدور باتجاه الحركة " المتوسطة " للكوكب، أي باتجاه خط طولها المتوسط. أما القوس r2 فتتطابق بدايته مع نهاية القوس r1، والذي يتموضع بحيث يشكل على مدى فترة الحركة زاوية معينة مع اتجاه r1، تعادل القيمة المطلقة لعلاقة المركز، وتحتفظ بالاتجاه المتوازي مع خط الابسيد. ويدور القوس r3 بنفس اتجاه القوسr1 وبسرعة تعادل ضعف السرعة لدوران r1 صانعاً بذلك دورتين كاملتين، كلما دار r1 دورة واحدة.

وفي الموديلات المخصصة للكواكب الثلاثة الخارجية، فان القوس الر ابع الذي يتطابق مع نصف قطر الدوار الفوقي للكوكب، ويوجد بشكل يكون فيه اتجاهه في لحظة ما مختارة متطابقاً مع الخطوط التي توحد بين مركز الكون والشمس "

المتوسطة ". فإذا أعطي كل من الاتجاه والطول لكل قوس من هذه الأقواس الأربعة، عندها يمكن إيجاد الطول الحقيقي للكوكب، بالنسبة لهذه اللحظة الزمنية المختارة.

والشيء المتميز الذي قام به ابن الشاطر بالنسبة للكواكب الداخلية هو انه جعل اتجاه القوس r1 يتطابق مع نصف قطر القوس " المتوسط " للكوكب (أي أن الكوكب في حركة متوسطة على التباين الشاذ في موديل بطليموس).

يكمن المغزى الحقيقي في موديل ابن الشاطر في انه رفض من النظرية البطليموسية التباين الشاذ والاكفانت، وحتى تصبح حركة الكوكب ممكنة بمساعدة الحركات الدائرية المتساوية، فكان عليه أن يدخل حركتين دائريتين مكملتين ((أي القوس r2 و r3) بين الحركة " المتوسطة " للكوكب وبين حركته على الدوار الفوقي.

ما هو المغزى الفكري الجديد الذي أدخلته مدرسة الطوسي؟

تحدثنا سابقاً أن الهدف عند علماء مدرسة المراغة كان الابتعاد عن المبادئ البطليموسية، والسعي لإيجاد معطيات رصد لحركتي القمر والكو اكب بشكل أساسي، والتي تناقضت مع موديل بطليموس ، واتفاقاً مع مبدأ بطليموس وأرسطو فان حركة الأجرام السماوية يمكن أن تكون حركة دائرية منتظمة فقط. ولكن المعنى الميكانيكي وأهمية موديلهم تحظى أكثر بكثير من هذا الهدف الأولي. وترجع الأهمية العظيمة في تاريخ الميكانيك إلى الفرض الهندسي للطوسي. وتأتي أهمية الفرض الهندسي خاصة، لان هناك نظرية مشابهة تماماً موجودة في مقالات كوبر نيكوس " عن دوران الأجرام السماوية " وهذا ما أعطى دافعاً قوياً للتأكيد على أن كوبر نيكوس اعتمد في نظريته هذه على أسلاف له في الشرق، وأن أساس نظريته وضع بالأصل في الشرق.

ولكن هذا لم يكن بهذه البساطة، كما يبدو لنا من النظرة الأولى. لقد ذكرنا انه حتى علماء العصور القديمة كانت معروفة حركة الوصلة المتحولة (كردان) التي نظر إليها هؤلاء العلماء كنتيجة لدورتين مركبتين، عندئذ تكون السرعة الزاوية لإحداهما مساوية لضعف السرعة الزاوية للأخرى، ومتجهة بالاتجاه المعاكس لها.

مثل هذا الإثبات موجود في تعليقات عالم الإسكندرية بروكلس في القرن الخامس على كتابات يفدوكس. وتكمن هذه الآلية كما بينا أعلاه في أساس موديل يفدوكس. ولهذا يجب أن يكون السؤال هل حدث تواصل بين علماء العصور القديمة، وبخاصة مبادئ النمذجة عند يفدوكس وبين طرق الطوسي وبين العمل المبدع لكوبر نيكوس.

من المعروف لدينا جيداً انه في الشرق في العصر الوسيط درس العلماء وعلقوا على " المجسطي " بما فيه الكفاية. ولكننا لم نعثر على أي إشارة إلى بروكلس ولا إلى منظومة يفدوكس في أعمال علماء الشرق في العصر الوسيط. ولهذا فليس لدينا أساساً للتحدث عن التواصل بين نظرية يفدوكس وموديلات الطوسي وتلامذته فيما بعد. ومن الواضح أن الطوسي أثبت فرضه الهندسي دون الاتصال بالأسلاف القدماء (العلوم القديمة) . وليس الفرض الهندسي للطوسي فقط الذي له تشابه في مقالات كوبر نيكوس، كذلك فان اهتماماً كبيراً في هذا المجال نجده في موديل ابن الشاطر والطوسي والشيرازي في نمذجتهم، حيث استمروا بالمحافظة على مفهوم التباين الشاذ والاكفانت. ولم يبتعد عن هذه التصورات إلا ابن الشاطر، الذي قدم مفهوم الدوار الفوقي المزدوج، والذي يشرح بمساعدته، وبشكل متشابه حركة جميع الأجرام السماوية: الشمس والقمر والكواكب.

ويرفض كذلك كوبر نيكوس بنظريته عن القمر التباين الشاذ والاكفانت، كما فعل ابن الشاطر، ويفترض (كوبر نيكوس) أن مراقبة عدم التساوي في حركة الأجرام السماوية هي نتيجة خلل فقط، تحدثه حركات الوضع العشوائي للمراقب في نظام التساوي الأزلي. ويقترح كوبر نيكوس موديلاً بثلاثة إمكانيات من الاحتمالات المساوية بالنسبة لبعضها البعض، وذلك من اجل تفسير حركة القمر والكواكب: وهي ربط دوارين فوقيين، وشذوذ، ودوار فوقي وشذوذين. والشيء الذ الميكانيك والفلك م-١٦ لم يضع اختياره مباشرة على احد هذه الموديلات. ففي عمله المبكر " في المقالة الصغيرة " استخدم بالنسبة للمريخ والمشتري وزحل دوارين فوقيين، وفيما بعد في عمله الأساسي (عن دوران الكرات السماوية " قدم النموذج الثاني من المخططات المشروحة.

ولكن كوبر نيكوس تمسك في نظرية حركة القمر بالموديل الأول كما هو الحال عند ابن الشاطر.

وفي الحقيقة فان كلاً من ابن الشاطر وكوبر نيكوس قد غيرا اكفانت الأقواس الأولى. فعند كلاهما تشابه كبير في آلية حركة القمر. وكذلك يقدمان تفسيرات متشابهة ومعقدة في موديل حركة عطارد. ومن الملاحظ أن هناك تطابق كبير في موديلاتهما في الكثير من الثوابت.

وهنا يمكن الافتراض أن كوبر نيكوس استطاع التعرف على أعمال ابن الشاطر. ولكن من الصعب علينا تأكيد ذلك. فعلى سبيل المثال اسم الطوسي كان معروفاً في أوربا، ولكن أعماله كانت معروفة في مجال الرياضيات، وليس في علم الفلك. ومن الممكن أن يكونوا قد تعرفوا على معلومات ما عن مدرسة المراغة في ايطاليا، في المكان الذي درس فيه كوبر نيكوس، من خلال سيل المخطوطات اليونانية ذات المضمون العلمي، والتي وصلت إلى أوربا بعد استيلاء الأتراك على الأستانة (من المعروف أن أبحاث ابن الشاطر ترجمت إلى اللغة اليونانية) وأفكار علمية من هذا النوع يمكن أن تكون قد " انتقلت إلى هناك.

وهنا ينشأ سؤال آخر. هل كانت هذه الأفكار الخلاقة لمدرسة المراغة وأفكار ابن الشاطر ظاهرة متقوقعة ومنعزلة عن مجرى تاريخ العلوم في العصر الوسيط الشرقي، أو أنها كانت على علاقة متصلة مع الأعمال الإبداعية لعلماء الفترة الواقعة بين القرنين التاسع – والثاني عشر ميلادي. كنشاط كل من الطوسي وابن الشاطر والشيرازي وغيرهم. وقد كانت إشارة الشيرازي هامة للغاية في هذا المجال، والتي كتبها في بحثه الثاني" نهاية الإدراك في دراية الأفلاك " حيث يقول أن الكثيرين من معاصريه يعكفون على القراءة ولبحث من أجل تفسير حركة الأجرام على أساس الموديلات اللابطليموسية. ويقدم الشيرازي أسماء لبعض الأبحاث التي وصلت إلينا،

والتي تضمنت نظريات مشابهة لنظريته. ومن بين العلماء الذين أشار إليهم على سبيل المثال عمر الخيام وابن الهيثم.

وهناك إشارة أخرى يذكرها ابن الشاطر وهي ذكر أسماء مؤيدي وجهة نظر بطليموس والانتقادات الموجهة لهذه النظريات في التعليقات الموجودة في زيج الخوارزمي والمجريطي (القرن العاشر – الحادي عشر) والاوردي من دمشق (على الأرجح هو سبط المارديني، بدر الدين محمد بن أحمد الغزال الدمشقي، عالم بالفلك، أصله من دمشق ولد ١٤٢٣ وتوفي ١٥٠١ م).

وكما هو الحال بالنسبة للشيرازي فقد عمل في المراغة اثنان من مساعدي الطوسي ، وهما المغربي (محي الدين بن يحيى بن محمد بن أبي الشكر المغربي. من فلكيي الأندلس كان في المشرق أيام الطوسي وعمل معه في مرصد المراغة توفي عام ١٢٨٠ / – المترجم) والشيرازي.

أما بالنسبة للأبحاث اللاحقة فمن الممكن أنها فقدت أو لم يعثر عليها بعد، هذه المخطوطات التي ستسد هذه الثغرة في معرفتنا عن المراحل الكينماتية الهندسية في النمذجة عند علماء الشرق في العصر الوسيط.

كان لنشاط مدرسة المراغة واللاحقين لها إحدى أهم القيم المنهجية. فالفرض الهندسي للطوسي الذي وضعت فيه العلاقة بين الحركات الدائرية والحركات الخطية المستقيمة، نصب جسراً بين الحركات الدائرية المنتظمة للأجرام السماوية والحركات " المكانية " الخطية المستقيمة للأجرام الأرضية، التي قسمت بشكل دقيق الميكانيك الارسطو طلي، بحيث ظهر على شكل اتجاهين علميين في الميكانيك هما: الاتجاه " السماوي " والاتجاه " الأرضي ".

الطرائق التجريدية:

بالإضافة إلى النمذجة الهندسية لحركة الأجرام السماوية هناك اتجاه آخر في علم الفلك في الشرق في العصر الوسيط، وهو استخدام الأساليب الرياضية الخاصة، التي يطلق عليها اسم الطرق التجريدية.

إن مجموعة المشاكل التجريدية التي يعتمد حلها بالتعرض إلى العمليات اللانهائية والمستمرة، للمتغيرات القصوى وقد حددت كعلم مستقل في رياضيات العصور القديمة أيضاً. كما هو عند علماء اليونان، وبشكل خاص عند يفدوكس وارخميدس، اللذان عملاً بطرائق التكامل والتفاضل التي استخدماها بنجاح في حل العديد من المسائل مثل حل المساحات والحجوم والسطوح (طرق المجموعات التكاملية المتناهية)، وا إيجاد التوابع (الدالة) المماسة والأطراف (طرق المثلثات التفاضلية) وغيرها.

وكان أول تعبير اصطلاحي للطر ائق التجريدية لعناصر الوسائل الرياضية الحديثة. هذه الطرائق (وخاصة الارخميدسية) التي شكلت نواة الانطلاق للعديد من أبحاث رياضيي القرن السادس عشر – السابع عشر ميلادي. والتي تحولت فيما بعد إلى وضع تحليل للقيم المتناهية الصغر (اللانهائية).

وقد استخدم ارخميدس هذه القيم على نطاق واسع ليس في مجال الرياضيات فحسب، وا إنما في مسائل علم التوازن (على سبيل المثال من أجل إيجاد مركز الثقل للأشكال المستوية). وقد حصلت جميع هذه الوسائل على تطور لاحق في الشرق في العصر الوسيط، ابتداء من القرن التاسع عند ابن قرة وابن الهيثم والطوسي وغيرهم من العلماء، الذين استخدموا الطرائق التكاملية ، وتمكنوا من ابتكار طرق أصيلة بمساعدة بعض القيم المعلومة، والحصول على نتائج حديثة متكاملة في الرياضيات. وقد استخدم ابن قرة هذه النتائج بنجاح في حل مشكلة التوازن.

ولكن إذا دخلت مسائل التوازن بشكل تقليدي منذ عصر أرخميدس في دائرة المشاكل التجريدية، فإنها في مسائل الحركة في المكان – المسائل الفلكية في نمذجة حركة الأجرام السماوية –لم تستخدم الطرائق اليونانية. وظهر لأول مرة هذا الصنف من المسائل في كتابات علماء الفلك في الشرق في العصر الوسيط. وقد تطلبت المسائل الجديدة إيجاد طرائق جديدة تناسبها. وهنا لم نصادف أي مثلث تفاضلي، ولا طريقة تكاملية، مميزة إلى درجة ما في حل المسائل الهندسية البحتة، ومسائل التوازن

الهندسي. ويعد هذا الأسلوب جديداً تماماً بالنسبة لتحليل العلميات المستمرة والظواهر الحركية في المكان.

ويتضمن أساس هذه الطريقة مفهوم تطابق مجموعتين أو أكثر من القيم، وهذا المفهوم هو الذي أوصل العلماء فيما بعد إلى مفهوم التوابع (الدالة).

وكقاعدة عامة فان هذه الطرائق تصدت إلى الظواهر الميكانيكية السماوية التي كانت معروفة بشكل جيد في ذلك الوقت، على سبيل المثال حركة الشمس على دائرة البروج، ولكن الدراسة كانت من وجهة نظر عامة – مثل الحركة غير المتساوية لنقطة على الدائرة بشكل عام، وأصبحت هذه المشكلة الحركية في المكان موضوعاً محدداً ودقيقاً في الأبحاث الرياضية.

أما بالنسبة لنا فنعرف اثنين من هذه الأبحاث، ويفصل بينهمافتر ة زمنية طويلة نسبياً – البحث الأول هو بحث ثابت بن قرة " كتاب عن تبطئ وتسريع الحركة على مدار الزودياك " (هو " كتاب في إبطاء الحركة في فلك البروج " – المترجم)، والبحث الثاني هو فصل من فصول كتاب " القانون المسعودي " للبيروني ، الذي تصدى فيه لحركة الشمس وتحديد طول السنة المدارية بالعلاقة مع ظاهرة مباكرة الاعتدالين (الترنح).

يستخدم ثابت بن قره الموديل الشاذ البسيط لحركة الشمس. والهدف منه – هو إظهار الحركة الحقيقية، أي الحركة غير المتساوية الظاهرية للشمس على دائرة البروج، والتي تتوافق فيه الحركة المتساوية مع الشذوذ، وهذه الحركة تتسارع وتتباطأ بشكل دوري حول قرب نقطة الحضيض ونقطة أوج الشذوذ، وا يجاد النقاط على دائرة البروج، التي تتوافق فيها سرعة الشمس مع سرعة هذه الحركة. وهنا يصيغ ثابت بن قرة براهينه على شكل صيغ أربع، صيغتان منهما (هندسية بحتة) ولهما قيمة مساعدة. حيث انه استخدمهما ليبين انه بالنسبة للمراقب الواقف في مركز الكون، الذي يتطابق مع مركز دائرة البروج " تتباطأ " هناك الحركة الحقيقية للشمس، حيث يكون الشذوذ أقرب ما يكون إلى دائرة البروج، أي يقع على القوس القريب من نقطة الأوج، وتتسارع في المكان الذي يكون الشذوذ فيه على أبعد حد له عن

نقطة الأوج، أي على القوس القريب من نقطة الحضيض – وفيما بعد يستعرض نقطتي الشذوذ اللتان تتميزان بميزة خاصة. فهاتان النقطتان هما تقاطع هذا الشذوذ مع القطر المستقيم، الذي يمر عبر مركز الكون والعمودي على القطر الواصل بين نقطة الأوج ونقطة الحضيض، والذي يناظر نسبياً هذا القطر. فإذا اخذ الآن في جوار هذه النقط قوسين صغيرين لدائرة البروج بطول اختياري ما ويتطابق مع هذين القوسين قوسي الشذوذ، عندها فان سرعة الحركة " المتوسطة "، أي سرعة الحركة المتساوية على خط الشذوذ تتقاطع معها في نفس هذه النقاط.

بهذا الشكل نجد أن ابن قرة اقترب إلى درجة كبيرة من مفهوم سرعة النقطة في لحظة زمنية معينة – السرعة الآنية. وحقيقة القول عن التغير المستمر لسرعة الشمس أثناء حركتها على دائرة البروج وتطابق هذه السرعة في نقطتين محددتين مع حركتها المتساوية على الشذوذ، فان ابن قر ة يتوقف أمام المرحلة النهائية لهذا الاستدلال الفعلي – الانتقال الأقصى، والذي كان استخدام مفهومه بالنسبة للمسائل المماثلة غريباً عليه (رغم أن ابن قرة استخدمه بنجاح في مسائل التوازن).

والآن من الطبيعي الافتراض أن الأبحاث التي جاءت متأخرة من حيث الزمن عن أبحاث ابن قرة مثل أبحاث البيروني كان من المفروض أن تعكس بصمات تأثير بحث ثابت بن قرة. ولكن الموضوع ليس على هذه الصورة. فالبيروني الذي عرف وقدر عالياً العديد من أعمال ثابت بن قرة، قام بدراسة هذه المشكلة بصورة مستقلة تماماً عن بحث ثابت. ومن الممكن أن يكون هذا البحث بالذات لثابت غير معروف لدى البيروني، وخاصة انه عكس في كتابه " القانون المسعودي " بلغة معاصرة شرح وتعليق ونقد على شكل عرض بيبليوغرافي لجميع الكتابات الفلكية لمن سبقه ومن عاصره من العلماء، ولم يشر إلى هذا البحث مطلقاً .

قام ثابت بن قرة بدراسة هذه الحركة بطريقة هندسية بحتة، منطلقاً من الفرضيات الهندسية بالنسبة للأقواس والزوايا.

كما يقدم البيروني أيضاً بحثه حركة النقطة على الدائرة كعملية مساعدة، ساعدته في إثبات الفرض الرئيسي: حركة نقطة الأوج للشمس باتجاه تزايد خطوط

الطول، ويتغير مع هذه العلاقة طول السنة المدارية. وتمكن أبحاثه من دراسة سلوك "معادلة الشمس" أي الفرق بين قوس الحركة "الحقيقي" والقوس "المتوسط " وفروق هذه " المعادلة " التي تتوافق مع النهايات المطلوبة للأقواس الصغيرة لدائرة الشذوذ ودائرة البروج.

ففي البداية يبرهن البيروني على نظريتين عن خواص معادلة الشمس: النظرية الأولى – إن النقطتين المبينتين أعلاه تشكلان نقطتين أعظميتين " في المعادلة ". والنظرية الثانية – إذا وضع قوسان متساويان من نقطتي الأوج والحضيض للشذوذ، عندها فان نهاية القوس الأول " للمعادلة " أكبر من حيث القيمة المطلقة من نهاية القوس الثاني. وبهذا الشكل تكون سرعة الحركة الظاهرية للشمس على حول نقطة الحضيض أكبر من سرعتها على حول نقطة الأوج.

ويشير البيروني فيما بعد على انه في نقاط الحد الاعظمي " للمعادلة " يؤول التباين في " المعادلات " إلى الصفر، ومع الاقتراب من نقطة الأوج فان هذا التباين يزداد بقيمة مطلقة. وهذا يعني أن سرعة الحركة الظاهرية للشمس تبلغ في نقطتي الأوج والحضيض الحدين الاعظمي والأدنى، أما خلال انتقالها من نقطة الأوج إلى نقطة الحضيض فيلاحظ أنها تزداد وتتباطأ بشكل مستمر، ويربط البيروني ذلك بالتغير المستمر لبيانات " المعادلة ". إن تباطؤ حركة [الشمس] – يقول البيروني – يتم على كلا جانبي نقطة الأوج، وتكون حدودها القصوى في نقطة الأوج، وفيما بعد يتناقص التباطؤ ويتحول إلى تسارع، وتبلغ حدوده القصوى في نقطة الحضيض. ثم يتناقص التسارع ويتحول إلى تباطؤ على كلا جانبي نقطة الحضيض، وهكذا فان التباطؤ و التسارع يرتبط حدوثهما مع ازدياد وتناقص الاختلاف في " المعادلات ". ومن ثم تباطؤ حركة [الشمس على دائرة البروج] في نقطة الأوج لا يتحول إلى تسارع في نقطة الحضيض إلا بعد أن يكون قد عبر نقطة [الحركة] المتساوية والمتوسطة في المكان الذي تكون فيه الزاوية اكبر ما يمكن بالنسبة للمعادلة. وتغير الحركة على كلا جانبي هذا المكان لا يكون محسوساً ، وذلك لأن التساوي [في

المعادلات] يبدأ بالتناقص اعتبار من نقطة الأوج وحتى هذا المكان المشار إليه، وبعد ذلك ينعدم التناقص في المكان نفسه، ثم يبدأ بالتزايد التدريجي المستمر حتى تبلغ الشمس نقطة الحضيض.

ويمكن أن يصاغ استدلال البيروني على الشكل التالي:

تتميز الحركة الظاهرة للشمس بتغير خط طولها على دائرة البروج (λ(t .

أي حسب الصيغة التالية:

$$\lambda(t) = \overline{l}\left(t\right) \mp q\left(t\right)$$

حيث أن: (t) λ – السرعة المتوسطة للحركة المتساوية على الشذوذ

(t) θ" معادلة الشمس.

ويتحدد تباطؤ أو تسارع حركة الشمس بإشارة الزيادة " للمعادلة "، أي فرق " المعادلة " وينظر البيروني إلى تتابع الأقواس الصغيرة النهائية المتساوية للشذوذ، والتي يقارن معها التتابع المتزايد (المتنامي) للأقواس الصغيرة على دائرة البروج والتتابع الذي يتوافق مع قيم التباين في المعادلات. ويتناقص هذا الفرق مع حركة الشمس من نقطة الأوج وحتى نقطة " المعادلة " الاعظمية، وتتزايد أثناء حركتها التالية من هذه النقطة وحتى نقطة الحضيض، متنامية إلى الصفر في نقطة الحضيض ذاتها، والتي تتطابق فيها الحركة " الحقيقية " مع الحركة "المتوسطة ". وعند حركة الشمس على جوانب نقطتي الأوج والحضيض فان فرق " المعادلات" يزداد بقيمة مطلقة متخذاً منها القيمة الاعظمية. وهنا يؤول الفرق الثاني إلى الصفر – فرق فروق " المعادلة "، أما الفرق الأول أثناء عبورها منها فتتغير الإشارة ($\pm$). وبهذا الشكل فان نقطتي الأوج والحضيض تشكلان نقاط انحناء التابع (الدالة) (t) θ .

وينشر البيروني في استدلاته أقواساً صغيرة مناسبة. مثبتاً آن فرق "المعادلات " يتناقص ويتزايد على أطراف (جوانب) نقطة الحد الاعظمي " للمعادلة " وينعدم في هذه النقطة، مجمعاً الأقواس في قطة، يقيمها البيروني فعلياً من خلال الحد الأقصى ١ $\to \Delta\lambda/\Delta\lambda$.

وعلى أساس ذلك يضع البيروني استنتاجاً حول العلاقة بين طول السنة المدارية من نقطة مختارة لبدايتها على دائرة البروج. فإذا اجري قياسان لطول السنة، بعد اختيار نقطة ما لبداية السنة على دائرة البروج، تتفق في الحالة الأولى مع نقطة الأوج لقوس الشذوذ، وفي الحالة الثانية مع نقطة الحضيض، عندها فان سنة الأوج وسنة الحضيض تمتد على قوس ما على دائرة البروج، لذلك وحتى تقع الشمس من جديد في نقطة الأوج، فيجب أن تعبر لنفس النقطة المماثلة.

فإذا نظرنا إلى حركة النقطة على دائرة البروج، تلك الحركة التي تتوافق مع الحركة المتساوية على دائرة البروج، تجد انه في قوة الحركة غير المتساوية على دائرة البروج هي العبور المتمم للشمس إلى قوس يكون في الحالة الأولى اكبر من الحالة الثانية. وبالتالي إذا تم اختيار نقطة الأوج بداية للسنة، عندها يكون طول السنة اكبر. وحتى تحافظ السنة على طولها دون تغيير، لنقطة بداية السنة، يجب اختيار تلك النقطة التي تكون فيها الحركة غير المتساوية للشمس منطبقة على الحركة المتساوية، ولا تظهر حركة نقطة الأوج أي تأثير على استمرار طول السنة. ومن هذا المنطلق يبين البيروني على أن مثل هذه النقطة يمكن أن تكون نقطة الحد الاعظمي للقيمة المطلقة " للمعادلة " فقط.

وبأسلوب مشابه في الدراسة يتعامل البيروني عند وضعه لكتابه "القانون المسعودي"، ولهذا يوجد أساس لافتراض تأثيره على الطرائق العامة نوعاً ما، والتي أطلقنا عليها شرطياً اسم "طريقة التباين أو الاختلاف" والتي استخدمها البيروني من اجل وصف استمرارية وتكرار التابع (الدالة) ومساره (سلوكه) حول النقاط المتطرفة. وينظر البيروني إلى عمليتي التناقص والتزايد المتتابع لتباينات الترتيب الأول والثاني للقيم القريبة في التوابع، التي تقارن بالزيادة المستمرة عند إثباتها. وعند تحديد قيم التوابع في النقاط المتطرفة فان البيروني يتكلم عن انعدام "التباين " أي يأخذ بعين الاعتبار سعيها نحو الصفر. وفي صالح هذه الحقيقة، وهو أن البيروني اعتبر أن طرقه عامة، ويذكر أيضاً حالة أخرى وهي القواعد الاستجوابية الخطية والتربيعية التي

يحتوي عليها كتاب " القانون المسعودي " هذه القواعد التي تؤدي إلى تعديل التوابع الموضوعة في سلسلة متدرجة مع تغيير للقيم الدقيقة الأولى والثانية المشتقة في نقطة بشكل تقريبي، وتغيير المعامل $\frac{1}{2}$ إلى ١، وهنا يفترض البيروني " التعميم على جميع الجداول " وهو عام بالنسبة لجميع المثلثات والجداول الفلكية المعروفة لديه. أي أنها عامة بالنسبة لصف محدد من التوابع المستمرة التي تدخل في الازياج.

إننا نرى أن هناك تعميماً محدداً بين الأساليب الاستجوابية عند البيروني وبين مفاهيمه في حججه في "جميع الجداول" من جانب أول، ومع " طرق التباينات" من جانب آخر. ومضمون هذا التعميم أن البيروني يدرس في كلا الحالتين التناقص والتزايد المتتالي لتباينات السلسلة الأولى والثانية للقيم القريبة للتابع، والتي تقارن مع القيم الصغيرة المتساوية في البرهان، وفيما بعد ينظر إلى الزيادة في البرهان و " انعدام التباين "، وتؤدي هذه الأفكار في حقيقة الأمر إلى عملية الانتقال المتطرف. إن ملاحظة " جميع الجداول " تستدعي أن نربط هذه المفاهيم بالعلاقات التابعية التي تصدى لها البيروني .

وفعلاً أمامنا الآن طرق تجريدية، لم يكن لها مثيل، لاعند علماء العصور القديمة، ولا عند السابقين أو عند الذين عاصروا البيروني في الشرق في العصر الوسيط.

وتحتوي جميع الازياج اللاحقة والى درجة معينة على تفسير لحركة الشمس. ولكن لم تستخدم فيها " طرق التباينات " للبيروني. وفي هذا المجال فان البيروني سبق زمانه بعيداً .

جدول بالمصطلحات العلمية

أوتو غنالية	طريقة يتم من خلالها الحصول على زاوية ارتفاع الشمس.
أردهاجيف	المعنى الحرفي للكلمة هو نصف قوس البصلة.
أبسيد	هو الخط الذي يرسمه الجرم حول الشمس من خلال دورته، والذي ينتج عنه قطر كبير هو الأبسيد.
الإصطرلاب	نوع من البوصلات .
إلونغاتسيا	عندما يشكل القمر مع الشمس زاوية قائمة
إكفانت	هو أن مركز الدورة الكبرى للكواكب تكون حول نقطة ممتدة على خط الأبسيد.
أنتيريستاسيس	نوع من الحركة الدوامية (إعصارية) مشروطة بعدم وجود خلاء في الطبيعة
أنفينيتيزم	هو طرائق لها علاقة مع مسائل الاستمرار (اللانهاية) وتحديد تطرف التابع حسب تصور علماء العصور القديمة.
بارالاكس	هو التغير الظاهري في مواقع النجوم الثابتة ويرجع هذا التغير إلى اختلاف موقع الأرض خلال دورتها حول الشمس.
بيسكتسيا	هو نظرية التقسيمات المتساوية لشذوذ دوران الجرم
بارطيس	العجل المرتكز على محور
بارومترات	قيم
بيليوغرافية	مرجعية
ترابيداتسي	هو نظرية مباكرة الاعتدالين أو الزحزحة أو ترنح الأرض
ترانسغرسال	نظرية الشكل الرباعي التام
جامات	كفات الميزان
جريدة نجميه	هي الخريطة السماوية التي تمثل مواقع النجوم في فترة ما من السنة
جيوديزيا	علم المساحة

ده – كانونيو	.راع الميزان
ديناره (درهم)	٤.٢٣ غ
يو بتر	جهاز مساحي على شكل المسطرة (أليداد)
زودياك	الأثير
زيج	كلمة أصلها فارسي وتعني جداول وموديلات فلكية لحركة الأجرام السماوية
ستاتيك	علم توازن الأجسام
سوريا–سيدهانتا	.راسة الشمس
سيا فوشا	بطل خيالي، إله الفرسان، انتشرت عبادته في خوارزم القديمة.
سيدهانتا	.راسة
سينوس	جيب الزاوية
فنومونيك	جيب الزاوية والفنومون (العفريته) أله مصممة لقياس الاتجاه والظل في أوقات معينة من الزمن .
القارستون	هي الأذرع غير المتساوية في الموازين الرومانية، ذات الأذرع غير متوازنة
كنومونيك	هي البحث عن قيمة ووضع الظل بواسطة عصا القياس كنومون
كينماتيك	علم الهندسة الحركية للأجسام
ماردیان	خط الطول
مثقال	٢.٩٧ غ
موديل	نموذج
مونوغرافيا	موسوعة في علم محدد، وهي تختلف عن موسوعة العلوم
ميكانيك	المهارة أو الشطارة
يـْل	مصطلح يستخدم في معنى الميلان وخاصة ميلان دائرة فلك البروج
مينورولوجيا	علم الفلزات
نقطة الحضيض	هو أقصر نصف قطر بين الأرض والشمس

نقطة الأوج	هو أطول نصف قطر بين الأرض والشمس
هيدروستا تيك	علم التوازن المائي